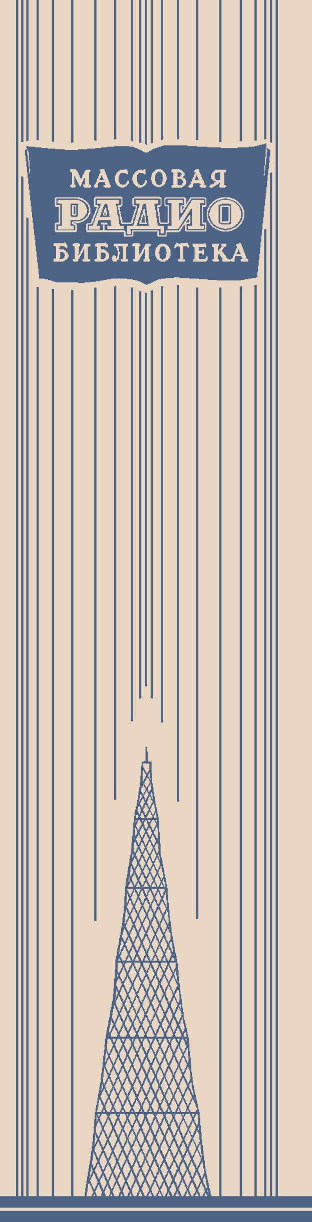


Г. Д. СМИРНОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ



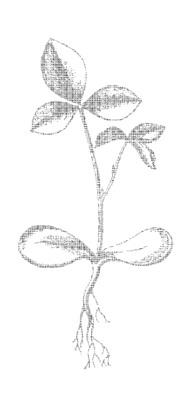
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 315

Г. Д. СМИРНОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказывается о математических основах построения электронных цифровых машин и принципах их работы. Рассматриваются также схемы отдельных элементов и узлов машин и даются их краткие характеристики.

Книга рассчитана на радиолюбителей и других читателей, знакомых с основами радиотехники.

СОДЕРЖАНИЕ

Смирнов Геннадий Дмитриевич

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ

* * *

Редактор *В. К. Зейденберг* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 15/IX 1958 г. Подписано к печати 27/XI 1958 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ 4,5 п. л. Уч.-изд. л. 5
Т-11647 Тираж 42 500 Цена 2 р. Зак. № 1416

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время почти любую научно-техническую проблему можно исследовать при помощи математических методов. Для этого исследуемый процесс представляется в виде системы уравнений или формул. Теория математического анализа почти всегда указывает пути решения таких систем, однако практическое решение их очень часто сопряжено с огромными трудностями, связанными с громоздкостью исходных уравнений и большим количеством последних. В этом случае на помощь приходит теория численного анализа, принципиально позволяющая при помощи элементарных арифметических действий решать разнообразные задачи с любой наперед заданной степенью точности.

Однако такой способ решения сложных задач связан с необходимостью выполнения очень большого числа отдельных элементарных арифметических действий. Так, например, некоторые современные задачи ядерной физики, квантовой механики, аэродинамики, астрономии и т. п. требуют для своего решения десятков миллионов элементарных действий.

Численный результат, полученный в ходе решения таких сложных задач, может в значительной степени потерять свою практическую ценность из-за затраты большого количества времени. Очень часто для сокращения времени вычислений приходится решать задачи упрощенно, не учитывая влияния ряда факторов, что означает получение результатов, недостаточно точно отражающих протекание реального процесса. Иногда такое упрощение приводит вообще к неверному результату.

Современное развитие науки и техники характеризуется повышением требований к точности и быстроте решения задач, требует учета большого количества факторов, влияющих на протекание исследуемого процесса, и ставит перед вычислительной техникой все более сложные задачи.

В связи с этим следует отметить, что проблема ускорения работы устройств вычислительной техники и повышения точности расчетов является чрезвычайно важной и актуальной.

Человечество с древнейших времен стремилось облегчить и ускорить выполнение вычислений при математических расчетах.

Так, около 4—5 тыс. лет назад в Китае появились обыкновенные конторские счеты, позволившие осуществить простейшую механизацию вычислительной работы.

В XVII в. Блэз Паскаль построил первую счетную машину, которая в дальнейшем была усовершенствована Лейбницем.

В 1878 г. акад. П. Л. Чебышев — один из выдающихся математиков — изобрел счетную машину, которая явилась прототипом современных настольных счетных машин.

В 1904 г. акад. А. Н. Крылов предложил конструкцию машины для интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. В 1912 г. такая машина была построена.

По принципу действия эти и подобные им машины были механическими. Их быстродействие определялось инерционностью движущихся частей машины, так как переход от одного состояния к другому требовал механического перемещения счетных колес, якоря электромагнитного реле и т. п. Опытный вычислитель, вооруженный такой техникой, мог за рабочий день выполнить не более 1 500—2 000 арифметических операций.

В конце 30-х годов нашего столетия вычислительная техника вступила в новую фазу: появились быстродействующие электронные цифровые машины, в которых нашли широкое применение электровакуумные приборы. Большое быстродействие электронных ламп позволило вычислительной технике совершить гигантский скачок вперед. Скорость вычислений возросла до нескольких тысяч операций в секунду и выше. Появилась возможность решать сложнейшие математические задачи в необычайно короткие сроки времени. Например, вычисление траектории полета артиллерийского снаряда на современной машине может быть произведено быстрее, чем этот снаряд окажется у цели. На быстродействующей электронной счетной машине (БЭСМ), например, решались системы из 800 уравнений с 800 неизвестными. В ходе решения задачи было выполнено около 250 млн. элементарных арифметических

операций. Человек мог бы решить такую задачу, затратив на нее около 300 лет непрерывного труда, а БЭСМ потратила всего 20 *ч*.

Электронные цифровые машины позволили решить ряд проблемных вопросов, которые не могли быть разрешены старыми средствами вычислительной техники. Уже на первых этапах своего существования эти машины помогли совершить ряд важнейших открытий почти во всех областях науки и техники.

Кроме решения математических задач, электронные цифровые машины могут осуществлять выполнение ряда логических задач: перевод текста с одного языка на другой, решение шахматных этюдов, библиографический подбор требуемой литературы и т. д.

Бурное развитие электронных цифровых машин и расширение областей их применения открывают массу интересных возможностей. Цифровые машины уже сейчас с успехом применяются в схемах комплексной автоматики, для управления воздушным транспортом, технологическими процессами, в банковском деле, статистике и т. д. Не будет преувеличением сказать, что в ближайшем будущем электронные цифровые машины будут использоваться во всех без исключения областях науки и техники, облегчая и ускоряя труд человека, разгружая его мозг от однообразной умственной работы.

В Советском Союзе придается большое значение развитию вычислительной техники и, в частности, производству электронных цифровых машин. Уже сейчас у нас работает ряд современных цифровых машин, таких, как БЭСМ, «Стрела», «Урал», М-2 и др.; много машин находится в стадии производства и проектирования. XX съезд Коммунистической партии Советского Союза принял развернутую программу развития и дальнейшего внедрения электроники и автоматики в народное хозяйство. Производство вычислительных машин за пятилетие возрастет примерно в 4,5 раза.

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Все применяемые в настоящее время средства вычислительной техники по принципу действия можно разделить на два больших класса. К одному классу следует отнести вычислительные машины и приборы непрерывного дей-

ствия, называемые также моделирующими устройствами. Модель представляет собой комплекс физических приборов, соединенных определенным образом в соответствии с решаемым математическим выражением с соблюдением законов подобия[1]. Моделирующие устройства характеризуются главным образом тем, что математические величины, вводимые в них, изображаются в виде непрерывных значений каких-либо физических величин (электрических токов, напряжений, длин, углов и т. д.). Указанные физические величины в ходе решения задачи изменяют свои значения, имитируя изменения моделируемых математических величин. Математические операции производятся над физическими величинами, и лишь полученные результаты в дальнейшем переводятся в цифровую форму. Вычислительный процесс при этом сводится к изменению соответствующих величин на созданной физической модели решаемой задачи.

Принципиальным недостатком машин непрерывного действия является низкая точность решения задачи, которая определяется точностью измерения самих физических величин, участвующих в процессе моделирования. Кроме того, на точность решения влияет разброс параметров отдельных элементов модели при колебании температуры окружающей среды, изменениях режима питания и т. д.

В лучших образцах современных моделирующих устройств точность вычислений не превышает 4—5 знаков, причем попытки дальнейшего повышения точности решения встречают непреодолимые технологические и эксплуатационные трудности.

Наиболее наглядным примером машины непрерывного действия являются обыкновенная логарифмическая линейка, а также различные планиметры, интеграфы и подобные им технические приборы.

Принцип моделирования наиболее легко реализуется при помощи электрических явлений, что позволяет наиболее легким путем производить измерение физических величин и их исследование. В связи с этим в настоящее время наибольшее распространение получили методы электрического моделирования, которые привели к созданию целого класса математических машин непрерывного действия.

---

[1] Процессы различной физической природы считаются подобными, если они описываются одинаковыми математическими выражениями (например, одинаковыми дифференциальными уравнениями).

Конструктивно машины непрерывного действия состоят из ряда взаимосвязанных блоков и узлов, каждый из которых служит для выполнения какой-либо математической операции (сложения, вычитания, умножения, деления, интегрирования и т. д.). Блоки и узлы связаны между собой в соответствии с конкретным видом решаемого уравнения. Если машина предназначена только для решения одного вида уравнений, то физический состав блоков и узлов машины и их связи являются постоянными. Такие машины являются узко специализированными. При проектировании моделирующих машин стремятся к тому, чтобы физический состав блоков, узлов и связей между ними можно было легко изменять с той целью, чтобы данная машина могла решать более широкий круг задач. Это приводит к уменьшению себестоимости вычислительных работ и ускорению вычислений. Тем не менее круг задач, которые могут быть решены на моделирующей машине, ограничен наличным составом оборудования машины. Таким образом, все машины непрерывного действия являются более или менее специализированными.

К их числу относятся, например, электроинтеграторы для решения обыкновенных линейных дифференциальных уравнений ЭЛИ конструкции Л. А. Гутенмахера, электроинтеграторы с усилителями постоянного тока с глубокой обратной связью конструкции В. А. Трапезникова и В. Б. Ушакова и механические интегрирующие машины — дифференциальные анализаторы.

В настоящее время математические машины непрерывного действия применяются в основном при моделировании различных процессов, а также для выполнения быстрых прикидочных инженерных расчетов, не требующих большой точности.

К другому классу математических машин относятся вычислительные машины и приборы дискретного действия. В этих машинах и приборах математические операции производятся не над физическими величинами, а непосредственно над числами, представленными при помощи цифр. Поэтому такие машины называют также цифровыми вычислительными машинами. Кроме чисел, в машину вводятся также команды, указывающие, какие действия следует произвести над вводимыми числами. Числа и команды обычно представляются в машине в виде кодов. Совокупность чисел и команд составляет программу решения задачи; их реализация в машинах осуществляется при по-

мощи определенных электрических сигналов и состояний физических приборов. Для изображения числа служит набор таких физических приборов.

Решение задачи сводится к выполнению отдельных арифметических действий над исходными числами, которые обычно задаются в позиционных системах счисления (двоичной, десятичной, двоично-десятичной и т. д.). В позиционных системах счисления значение цифры зависит от места расположения ее в числе. Так, например, в обычной десятичной системе одна и та же цифра может означать десятки, сотни, тысячи и т. д. в зависимости от своего места в числе.

Одним из основных преимуществ цифровых электронных машин перед машинами непрерывного действия является значительно бо́льшая точность вычислений. Точность выполнения расчетов на электронных цифровых машинах зависит от количества знаков, изображающих числа, с которыми может оперировать арифметическое устройство машины. Современные машины реализуют 10—12 значащих цифр при десятичной записи числа или 32—40 цифр при двоичной записи. Существенно, что точность работы машины прямо не связана с точностью изготовления самих элементов, реализующих число; от них требуется лишь способность находиться в определенном числе резко выраженных фиксированных состояний (проводимость или непроводимость тока, замыкание или размыкание контакта и т. д.).

Следующим важным преимуществом цифровых машин перед машинами непрерывного действия является возможность универсального их применения. Цифровые машины выполняют четыре основных действия арифметики: сложение, вычитание, умножение и деление. К этим, а также некоторым простейшим логическим действиям, например сравнению двух чисел, элементарным действиям арифметики, применяя методы численного анализа, можно свести решение большого числа разнообразных задач. Если задача имеет свой алгоритм, то в большинстве случаев ее можно решить при помощи электронной цифровой машины.

Задачи ядерной физики, квантовой механики, аэродинамики, астрономии и т. д. необычайно сложны и имеют следующие характерные особенности: 1) необходимость выполнения больших последовательностей различных арифметических и логических операций; 2) наличие боль-

шого количества промежуточных результатов, которые сразу же используются для продолжения вычислений; 3) необходимость часто изменять направление вычислительного процесса в зависимости от результатов промежуточных вычислений.

Работа цифровой машины отвечает всем перечисленным выше особенностям решаемых задач, так как она: 1) обладает арифметическим устройством, способным выполнять большие последовательности элементарных арифметических и логических операций; 2) имеет устройства достаточной емкости для хранения промежуточных и исходных данных; 3) может автоматически выбирать нужное продолжение дальнейшего хода вычислений в зависимости от результатов промежуточных операций.

Все эти достоинства электронных цифровых машин могли быть реализованы на основе сочетания принципа автоматического управления операциями с быстродействующим арифметическим устройством машины. При автоматизации управления вместо развернутых неизменяемых программ, содержащих полностью весь перечень операций, выполняемых машиной, оказалось возможным применять циклические программы, изменяемые самой машиной в процессе вычислений. При этом резко уменьшается как объем программ, так и работа по их составлению. Значительно возрастает эффективность использования машин.

Все электронные цифровые машины по диапазону решаемых задач можно разделить на универсальные и специализированные. В первые годы развития цифровых машин предпочтение отдавалось разработке машин универсального назначения, которые представляли собой довольно сложный и громоздкий комплекс электронной и электромеханической аппаратуры. В состав таких машин входили несколько тысяч электронных ламп, десятки тысяч сопротивлений, конденсаторов и других деталей. Так, в первой цифровой машине универсального назначения число ламп доходило до 18 000 шт. Такие машины занимают несколько десятков квадратных метров площади, требуют источников питания мощностью до 100 *квт*. Все это увеличивает стоимость машины и затрудняет ее эксплуатацию.

Машины универсального назначения предназначены для решения задач, требующих большого объема вычислений с довольно высокими скоростью и точностью; они способны также решать несколько задач одновременно.

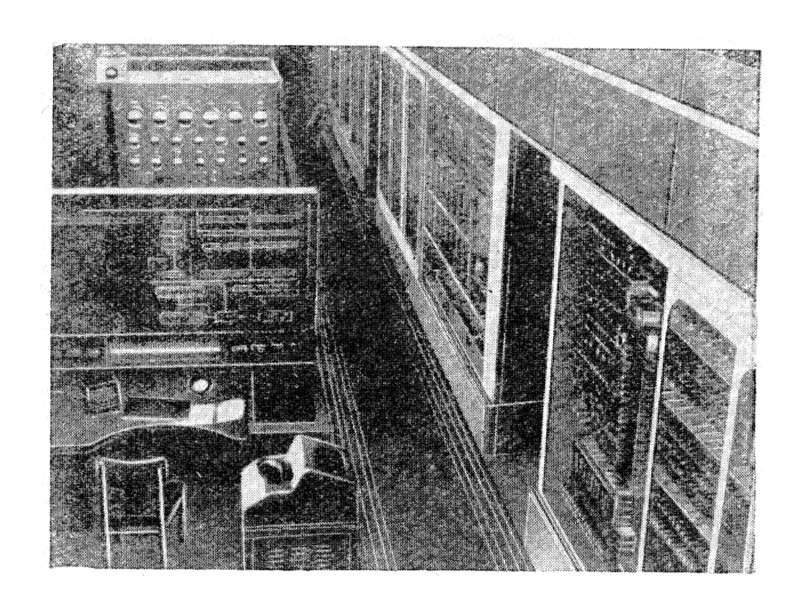


Рис. 1. Универсальная электронная цифровая машина БЭСМ Академии наук СССР.

К числу таких машин относятся, например, советские машины БЭСМ (рис. 1), «Стрела» (рис. 2) и «Урал» (рис. 3).

В настоящее время большое развитие также получают специализированные электронные цифровые машины. Эти машины строятся таким образом, что программа вычислений полностью или частично задается в машине схемно путем коммутации и является постоянной.

Специализированные машины разрабатываются применительно к типу решаемой задачи. Они более просты, надежны в эксплуатации, компактны и имеют относительно меньшую стоимость изготовления и эксплуатации.

Существуют специализированные цифровые машины для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, математического предсказания погоды, информационной работы, исследования морских приливов, военно-тактических применений и т. д.

По способу ввода информации электронные цифровые машины также можно разделить на две подгруппы.

К первой подгруппе следует отнести цифровые машины с непосредственным вводом данных, так называемые управляющие машины. К этой подгруппе принадлежат машины, применяемые для автоматизации процессов в

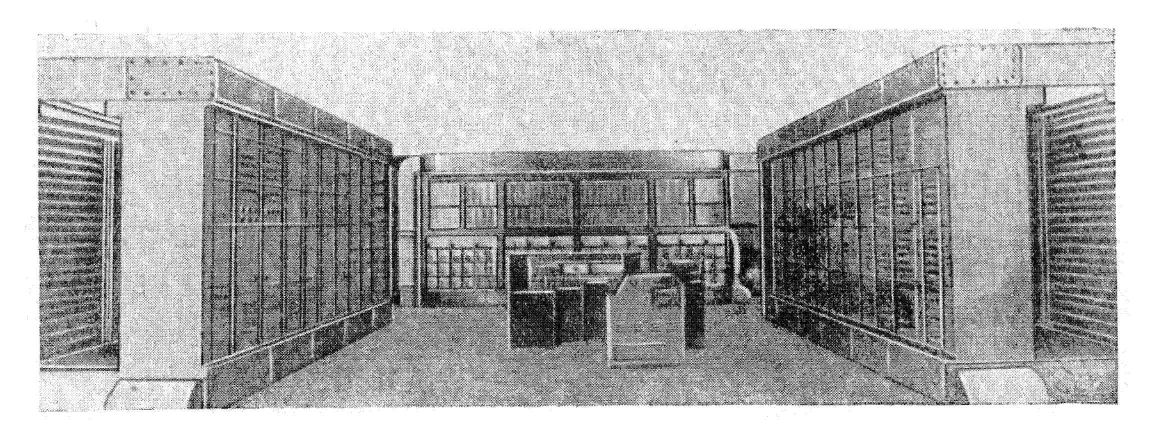


Рис. 2. Универсальная электронная цифровая машина „Стрела“.

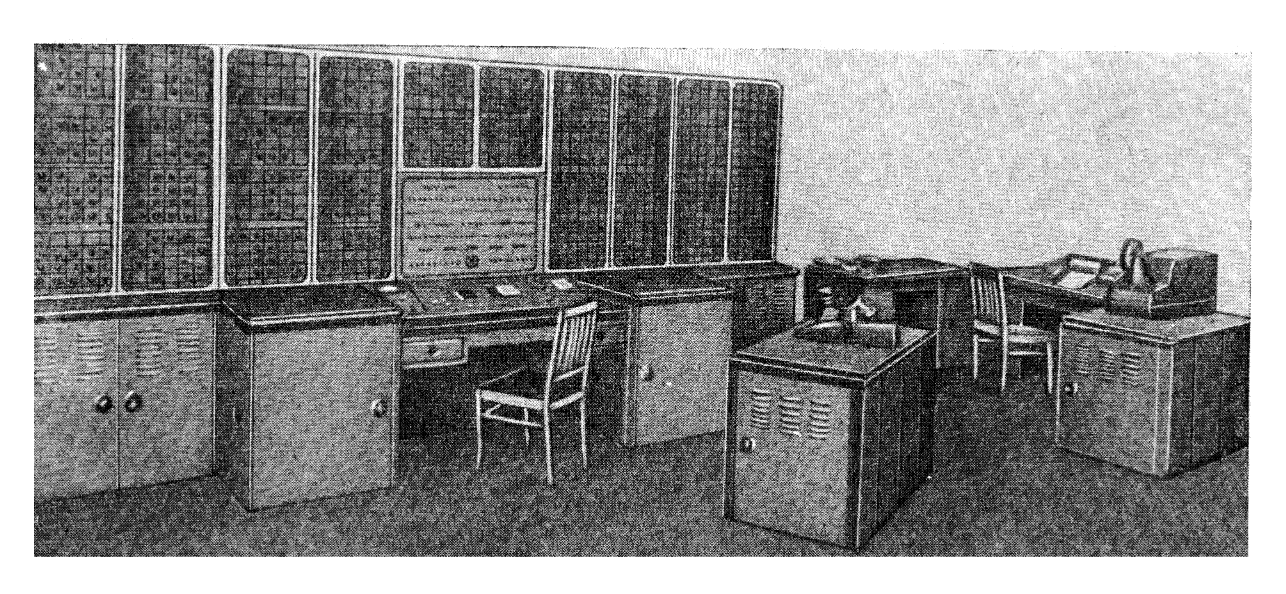


Рис. 3. Малая электронная цифровая машина „Урал“.

различных областях техники, где физические величины непосредственно вводятся в цифровую машину и лишь в дальнейшем преобразуются в дискретную форму. Например, очень наглядно осуществляется такой переход при повороте вала, когда непрерывные изменения угла поворота вала преобразуются в дискретную форму, необходимую для работы цифровой машины.

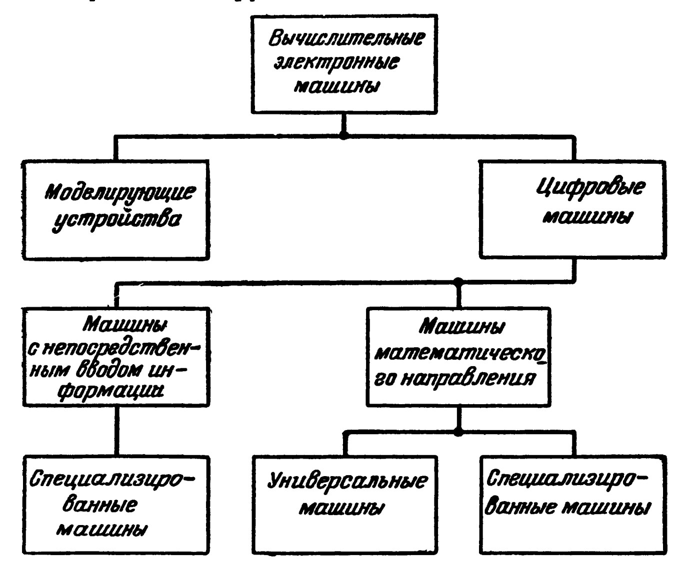


Рис. 4. Примерная классификация электронных вычислительных машин.

Ко второй подгруппе необходимо отнести цифровые машины математического направления, где вводимая информация с самого начала имеет числовой характер. Эти машины позволяют решать разнообразные математические задачи при помощи методов численного анализа. Примерная классификация средств вычислительной техники представлена на рис. 4.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Системы счисления

Цифровая машина имеет дело с кодами чисел и команд, представленными в некоторой системе счисления. Вообще системой счисления называется совокупность правил и знаков, употребляемых для выражения чисел.

В позиционной системе счисления некоторое число p (2, 10, 12 и т. д.) единиц объединяется в одну единицу второго разряда, p единиц второго разряда объединяются в одну единицу третьего разряда и т. д. Каждое число измеряется количеством единиц различных разрядов, причем сначала определяется количество единиц наивысшего разряда, затем количество единиц ближайшего, более младшего разряда, содержащихся в остатке, и т. д.

Такая система счисления называется p-й, где p — основание системы; количество единиц каждого разряда числа представляется цифрами этого числа.

Общий вид целого числа x, имеющего $M+1$ разрядов и записанного в p-й системе счисления, будет следующий:

$$x = \pm \sum_{k=0}^{M} x_k p^k,$$

где p — основание системы счисления; x_k — целые числа, причем $0 \leqslant x_k < p$, где $k=0, 1, 2, \ldots, M$. Для дробных чисел величина k может принимать отрицательные значения. Обычно множители p^k при написании числа опускаются, а величины x_k выписывают рядом в строку, причем между x_0 и x_{-1} ставится запятая, отличающая переход от целой части к дробной. Первый разряд целого числа (разряд единиц) по общепринятой системе записи слева направо представляется крайней правой цифрой; второй разряд — второй цифрой справа и т. д.

При выполнении арифметических действий над числами применялись и применяются системы счисления с разными основаниями. Так, в настоящее время широко распространена десятичная система счисления ($p=10$); в ней для обозначения цифр в числах применяются 10 различных символов (0, 1, 2, ..., 9). Существует 12-ричная система ($p=12$), счет в которой производится дюжинами. Известны также 20-ричная, 60-ричная и другие системы счисления. Особое место занимает двоичная система счисления ($p=2$), отличающаяся от всех прочих систем тем, что в ней требуются и приняты всего лишь два различных символа для цифр: 0 и 1.

В электронных цифровых машинах употребляются различные системы счисления; из них наибольшее распространение получили: десятичная, двоичная, а также комбинированная двоично-десятичная системы счисления.

Рассмотрим преимущества и недостатки указанных систем.

Десятичная система счисления. Основанием системы служит число 10, которое образует единицу 2-го разряда; единицей 3-го разряда будет $10^2=100$ и т. д., т. е. единица каждого следующего старшего разряда в 10 раз больше единицы предыдущего.

Десятичная система счисления имеет то преимущество перед другими системами, что числа, вводимые в цифровую машину, не надо переводить в другую систему счисления для использования их в машине, ибо все наши предварительные расчеты выполняются в десятичной системе. Это существенно ускоряет процесс решения математических задач.

Применение десятичной системы в цифровых машинах значительно усложняет конструкцию машины, так как для изображения чисел с основанием 10 нужно использовать физические системы с десятью устойчивыми состояниями равновесия. В таких случаях необходимо, например, применять в арифметическом и запоминающем устройствах машины кольцевые схемы с большим числом электровакуумных приборов; так, для изображения цифры только одного разряда числа в такой схеме потребуется 10 электронных ламп. Учитывая, что вычисления ведутся с 10—12 десятичными знаками, легко представить себе, что общее количество электронных ламп для представления даже одного числа становится очень большим. Такое усложнение конструкции машины снижает достоинства десятичной системы и заставляет исследовать и применять другие системы счисления.

Двоичная система счисления. Данная система получила наибольшее применение в цифровых машинах вследствие своей относительной простоты. Для обозначения цифр числа в этой системе требуются всего два символа: 0 и 1. Таким образом, величины x_k могут принимать только эти два значения. Каждый старший разряд числа больше соседнего младшего не в 10, а всего в 2 раза.

Запись числа в двоичной системе выглядит следующим образом; например, число 1 230 запишется так:

$$1\,230 = 1\cdot 2^{10} + 0\cdot 2^9 + 0\cdot 2^8 + 1\cdot 2^7 + 1\cdot 2^6 + 0\cdot 2^5 + 0\cdot 2^4 + \\ + 1\cdot 2^3 + 1\cdot 2^2 + 1\cdot 2^1 + 0\cdot 2^0,$$

или в двоичной записи: 10011001110. Нетрудно убедиться, что употребление двоичной системы приводит к увеличению числа разрядов (это видно из приведенного примера), зато снижает число употребляемых цифр в каждом разряде до двух; это экономит общее число знаков, необходимых для записи чисел по сравнению с десятичной системой.

Сравним количество элементов, необходимых для реализации чисел от 1 до некоторого x в двоичной и десятичной системах счисления. Пусть число цифр в разряде будет p, а максимальное число разрядов n; тогда можно считать $x=p^n$. Требуемое число элементов N для записи числа x при условии, что каждая цифра реализуется одним элементом, будет выражено формулой $N=pn$. Исследуя формулу на минимум при условии $x=p^n$, легко получаем, что минимальному N соответствует $p=e\approx 2{,}71$. Так как систему счисления с основанием, не равным целому числу, использовать при вычислениях трудно, обычно применяют систему с основанием $p=2$ или $p=3$. Действительно, для реализации чисел до 10^6 по десятичной системе потребуется 60 элементов, а по двоичной системе — только 40. Как видно, получается экономия в 1,5 раза.

Однако наиболее важным преимуществом двоичной системы является то, что числа здесь реализуются рядом физических компонент, способных принимать два устойчивых состояния равновесия, которые соответствуют двум цифрам системы: 0 и 1.

Наиболее просто и надежно работают компоненты, обладающие двумя устойчивыми состояниями равновесия: включено — выключено, намагничено — размагничено (или перемагничено в другом направлении) и т. д.

В качестве физических систем с двумя устойчивыми состояниями равновесия очень легко можно применять электронные лампы или полупроводниковые приборы в состояниях «открыто» или «закрыто», что будет соответствовать «1» или «0» при изображении чисел. Кроме электронных ламп, удобно применять магнитные приборы с прямоугольной петлей гистерезиса. Применяются также различные электромагнитные реле, имеющие два устойчивых состояния (замкнута контактная система или разомкнута), но обладающие сравнительно большим временем срабатывания, что ограничивает их применение в быстродействующих электронных цифровых машинах.

Изображение чисел при помощи 0 и 1 при двоичной записи существенно упрощает арифметические операции.

К числу недостатков двоичной системы относятся: 1) необходимость перевода чисел из десятичной системы в двоичную и обратно, если арифметические операции в машине производятся в двоичной системе, тогда как обычно на практике вне машины оперируют с числами в десятичной системе; 2) весьма однообразный вид чисел при большом числе разрядов затрудняет их быстрое чтение.

Двоично-десятичная система счисления. Очень часто цифровые машины проектируются для работы с использованием комбинированных систем счисления, например двоично-десятичной. При этом нет нужды преобразовывать вводимые числа из десятичной системы в двоичную и при выводе обратно переводить их в десятичную. Кроме того, при этом используются преимущества двоичной системы для построения арифметического и запоминающего устройств машины.

Двоично-десятичная система имеет своим основанием число 10. Каждая цифра в этой системе задается своим двоичным эквивалентом, т. е. десятичные цифры 0, 1, 2,..., 9 записываются в виде двоичных четырехзначных чисел: 0000, 0001, 010, ..., 1001. Эта система менее экономична в смысле количества знаков, необходимых для записи чисел, чем двоичная, так как в ней для записи 10 различных цифр используются только 10 комбинаций из 16 возможных (для четырех двоичных разрядов). Сама запись числа по двоично-десятичной системе длиннее его чисто двоичной записи. Например, число $754 = 1 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$ имеет двоичную запись 1011110010 (10 цифр), а двоично-десятичную — 0111 0101 0100 (12 цифр).

Кроме рассмотренных систем, существуют двоично-пятеричная система счисления и ряд других, рассматривать которые мы не будем, сославшись на имеющуюся по этому вопросу литературу.

Арифметические действия над числами, выраженными в двоичной системе счисления

Рассмотрим более подробно основные арифметические действия в двоичной системе счисления.

Сложение. Для сложения двух двоичных чисел достаточно сложить их коды для каждого разряда числа; при этом если складываются две единицы, то в сумме дан-

ного разряда числа пишется «0», а «1» переносится в следующий (старший) разряд. Если же складываются «1» и «0», то в сумме получается «1».

Таким образом, получаем простую таблицу сложения:

$0+0=0$
$0+1=1$
$1+0=1$
$1+1=0$ и перенос 1 в следующий старший разряд.

Например, при сложении двух семиразрядных (в двоичной системе) чисел получим:

в двоичной системе	в десятичной системе
[0] 0101011	+43
+	+
[0] 0100101	+37
[0] 1010000	+80

Здесь [0] показывает ячейку знака числа (0 — код положительного числа, 1 — код отрицательного числа). Операции с кодами ячеек знака числа производятся так же, как с кодами разрядов самого числа, а получившийся в результате сложения код знака есть код знака суммы.

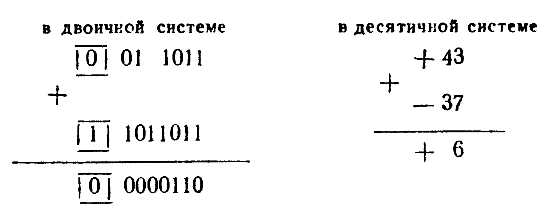
Вычитание. Действие вычитания иначе можно представить как сложение двух чисел, одно из которых положительно, а другое отрицательно. Операция будет значительно упрощена, если к отрицательному слагаемому применить правило дополнения. Из курса арифметики известно, что дополнением называют разность между ближайшей большей степенью основания системы счисления и данным числом. Чтобы найти двоичное дополнение, применяется следующее правило: последнюю правую единицу и все следующие за ней справа нули (если они есть) оставляем без изменений, а во всем остальном числе заменяем единицы нулями, а нули — единицами.

Поясним это правило числовым примером. Число +37 в двоичной записи имеет следующий вид:

[0] 0100101

Этот код положительного числа называют прямым кодом. Обратный код числа +37 можно записать, поменяв единицы на нули, а нули на единицы, т. е. [1] 1011010.

Если прибавить 1 в младшем разряде числа, то получим дополнение числа +37, соответствующее приведенному выше правилу, т. е. [1] 1011011. Тогда вместо вычитания числа +37 из числа +43 можно произвести сложение с двоичным дополнением числа 37:



Получившийся в результате код [0] 0000110 представляет собой число +6.

Умножение. Умножение в двоичной записи основано на следующих правилах, представляющих своего рода таблицу умножения:

$$0 \times 0 = 0$$
$$0 \times 1 = 0$$
$$1 \times 0 = 0$$
$$1 \times 1 = 1$$

При умножении в машине код множимого последовательно умножается на цифры каждого разряда кода множителя, а затем все частичные произведения суммируются со сдвигом их каждый раз на один разряд. Так как цифрой каждого разряда двоичного числа может быть либо 1, либо 0, то умножение множимого на данный разряд множителя сводится либо к прибавлению его (со сдвигом) к сумме частичных произведений, если в данном разряде множителя стоит 1, либо к переходу к умножению на следующий разряд, если в данном разряде множителя стоит 0.

Числовой пример выглядит следующим образом:

в двоичной системе	в десятичной системе
[0] 100011	+ 35
×	×
[0] 000101	+ 5
100011	+ 175
100011	
[0] 10101111	

Знак произведения определяется путем суммирования кодов в знаковых ячейках сомножителей.

Деление. Деление в двоичной системе производится путем последовательных вычитаний кода делителя из соответствующих разрядов кода делимого. Знак определяется так же, как знак произведения при умножении. В качестве числового примера покажем деление числа +137 на +10.

в двоичной системе

```
|0|  10001001  | |0| 1010
 а)  1010      |----------
-------------  | |0| 1101
 б)   1110
 в)   1010
-------------
 г)    10001
 д)     1010
-------------
         111
```

в десятичной системе

```
+137  | +10
  10  |------
----  | 13 7/10
  37
  30
----
   7
```

Первым шагом деления является размещение делителя под делимым. При этом делитель должен быть сдвинут возможно дальше влево, но так, чтобы полученная разность была положительной. Правильное размещение делителя показано в строке «а». Первая цифра частного, 1, ставится под делителем, и затем делитель вычитают из делимого, чтобы получить положительную разность (строка «б»). Полученная разность сравнивается с делителем: она должна быть меньше его. К разности, полученной в строке «б», сносится и приписывается следующая цифра делимого. Если новое число в строке «б» больше делителя, то делитель помещается под этим числом и процесс вычитания повторяется. Если новое число меньше делителя, то в данном разряде частного пишется цифра 0. Затем в разность сносится следующая цифра делимого, делитель сдвигается на один разряд вправо, и процесс деления продолжается до тех пор, пока частное не получится полностью. Полученный результат $1101+\frac{111}{1010}$.

В приведенном примере деление выполнено в соответствии с обычными арифметическими правилами для деления в любой системе счисления, однако при делении в двоичной системе не приходилось выполнять никакого умножения, так как наибольшее число раз, которое делитель может содержаться в делимом при отыскании каждой цифры частного, есть 1 — наибольшее число в каж-

дом разряде этой системы. Поэтому произведение отличной от нуля цифры частного на делитель всегда равно самому делителю.

Представление чисел

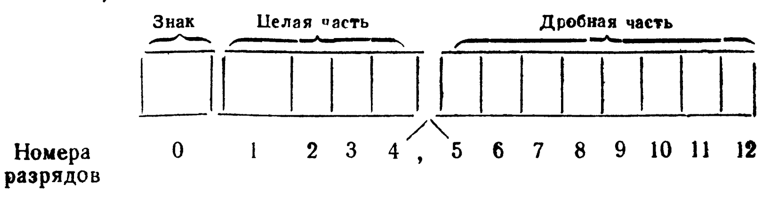
Как уже указывалось, электронные цифровые машины оперируют с числами, представленными в некоторой p-й системе счисления ($p=2$, 10 и т. д.), с данным фиксированным числом разрядов, определяемым структурой машины.

Вводимые в машину числа обычно имеют целую часть и дробную, которые разделяются запятой. В зависимости от того, каким образом располагается знак запятой, все машины делятся на машины с фиксированной запятой и машины с плавающей запятой (или с учетом порядков).

В машинах с *фиксированной* запятой применяется обычный вид записи чисел: число представляется в виде последовательности цифр, разделенной запятой на целую и дробную части.

Ячейка для хранения одного числа в такой машине состоит из знакового разряда, где цифра 0 обозначает положительное, а цифра — 1 отрицательное число, и цифровых разрядов, занумерованных целыми числами 1, 2, 3,... Некоторое постоянное количество цифровых разрядов отведено для хранения целой части числа; остальные цифровые разряды предназначены для изображения его дробной части.

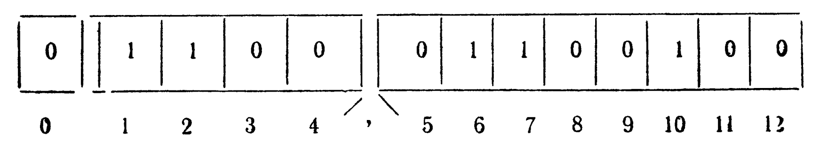
Примером изображения ячейки с четырьмя разрядами для хранения целой части и восемью разрядами для хранения дробной части может служить такая схема (разрядная сетка):



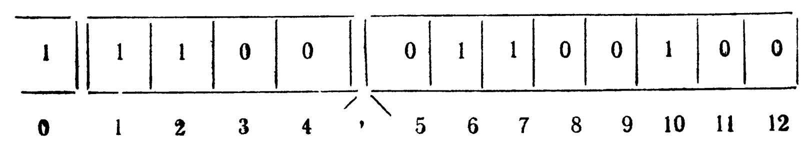
В такой ячейке положение запятой зафиксировано после четвертого разряда. Сама запятая в ячейке никак не изображена: просто все устройства машины так сконструированы, что запись чисел в ее ячейках производится в соответствии с присущим данной машине положением запятой. Так, в приведенной схеме ячейки целая часть числа

будет записана в разряды с номерами 1, 2, 3, 4, а дробная часть — в разряды с номерами 5, 6, ..., 12. В реальных машинах ячейка содержит обычно 32—40 цифровых разрядов.

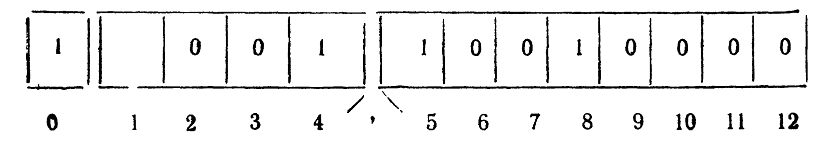
Покажем, каким образом производится запись числа в машинах с фиксированной запятой. Допустим, мы хотим записать число $+12{,}390625 = 12\frac{25}{64}$. Двоичная запись этого числа выглядит так: $+1100{,}011001$, и тогда разряды ячейки заполняются следующим образом:



Отрицательное число $-12{,}390625 = -12\frac{25}{64}$ в двоичной записи будет иметь вид: $-1100{,}011001$, а ячейка заполнится так:



Существенным недостатком машины с фиксированной запятой является частая возможность переполнения разрядной сетки как в целой части, так и в дробной. В этом случае говорят о переполнении разрядной сетки слева и справа. Например, число $+1010001{,}1001$ запишется в ячейке так:



т. е. в ячейке будет записано неправильное число $-1{,}1001$; переполнение может искажать результат вычислений. Чтобы этого не случилось, все величины, входящие в решаемую задачу, умножают на масштабные коэффициенты, т. е. на множители, подобранные с таким расчетом, чтобы в процессе вычислений разрядная сетка не переполнялась.

Подбор масштабных коэффициентов часто бывает довольно трудным; для облегчения этого обычно в большинстве машин положение запятой фиксируют после знакового разряда. В этих случаях в ячейках могут быть записаны только правильные дроби, т. е. числа меньше единицы, что достигается подбором масштабных коэффициентов, а перемножение двух правильных дробей всегда приводит к правильной дроби, т. е. не вызывает переполнения разрядной сетки слева.

В тех случаях, когда число имеет значащие цифры в разрядах, более младших, чем те, которые могут быть реализованы в разрядной сетке, машина оперирует этими цифрами, как нулями, т. е. при этом происходит округление.

Числа, отличные от нуля, но воспринимаемые машиной как нули, называются машинными нулями.

Вследствие ограниченного количества разрядов в разрядной сетке машина с фиксированной запятой оперирует числами, составляющими относительно небольшой диапазон.

Недостатки, связанные с необходимостью введения масштабных коэффициентов и ограниченным диапазоном обрабатываемых чисел, устраняются в машинах с *плавающей запятой*. В этом случае в разрядной сетке ячейки, кроме знакового разряда и цифровых разрядов, содержится еще некоторое количество разрядов, указывающих положение запятой в числе; цифры в этих разрядах составляют так называемый код порядка:

Знак числа	Цифровые разряды												Знак порядка	Код порядка			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Чтобы уяснить себе, как изображаются в этом случае числа, рассмотрим некоторое двоичное число N. Не изменяя его величины, умножим его на $10^0 = 1$ (где 10 означает число два в двоичной системе):

$$N = N \cdot 10^0.$$

Правую часть этого равенства можно преобразовать так, чтобы абсолютная величина первого сомножителя была меньше 1. Если $|N| < 1$, то никакого преобразования не

требуется. Если же $|N| \geqslant 1$, то переносим запятую в двоичной записи первого сомножителя на соответствующее число разрядов влево, а показатель степени второго сомножителя увеличиваем на столько единиц, на сколько разрядов была перенесена запятая. Теперь указанное равенство примет вид:

$$N = m \cdot 10^p,$$

где $|m| < 1$, а p — целое число.

Например, в соответствии с этим можно записать:

$$N_1 = -0{,}011 = -0{,}011 \cdot 10^0; \text{ или}$$
$$N_2 = +1011{,}01 = +0{,}101101 \cdot 10^{100} =$$
$$= +0{,}0101101 \cdot 10^{101} = +0{,}00101101 \cdot 10^{11}$$

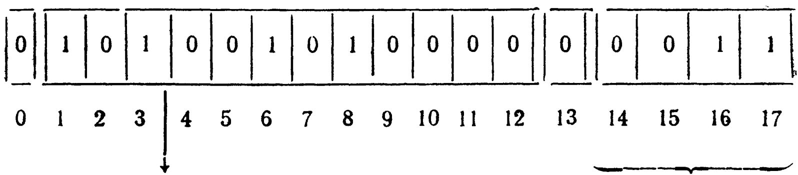
и т. д.

Из последнего примера видно, что показатель степени второго сомножителя равен номеру того разряда первого сомножителя (считая нулевым разряд целых единиц), после которого нужно поместить запятую, для того чтобы первый сомножитель совпал с числом N. Следовательно, если число N изображать набором цифр дробной части числа m, то показатель степени второго сомножителя p показывает положение запятой.

Такую запись часто называют полулогарифмической, множитель m именуют мантиссой, а показатель степени p — порядком числа N.

В машине с плавающей запятой число N записывается так: знак мантиссы записывается в знаковый разряд ячейки (0 — положительное число, 1 — отрицательное), мантисса размещается в цифровых разрядах. Затем один разряд отводится для хранения знака порядка, а остальные — для хранения абсолютной величины порядка.

Например, 0,10100101, соответствующее числу $+101{,}00101 \cdot 10^{+11}$, запишется так:



0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Запятая после 3-го разряда

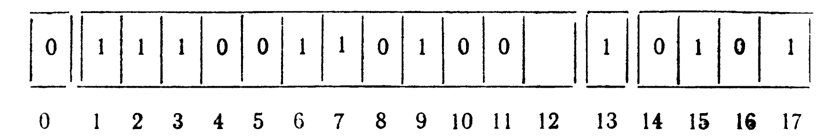
Порядок равен +3

Запись числа N в виде $N = m \cdot 10^p$ называется **нормализованной**, если

$$\frac{1}{10} \leq |m| < 1 \ ;$$

при этом запятая стоит перед первой значащей цифрой мантиссы. Если же $|m| < \frac{1}{10}$, то говорят, что число N не нормализовано. В случае ненормализованного числа запятая в мантиссе стоит перед нулем. Так, нормализованное число $+0{,}1011 \cdot 10^{10}$ в другой записи, например $+0{,}0001011 \cdot 10^{101}$, окажется ненормализованным. Если число N представляет собой двоичную дробь меньше $\frac{1}{10}$, то при нормализованной записи порядок его окажется отрицательным. Например, число $N = +0{,}00000111001101$ после нормализации примет вид: $N = +0{,}111001101 \cdot 10^{-101}$.

Соответствующая запись в ячейке имеет вид:



Мы выяснили, что порядок числа совпадает с номером цифрового разряда ячейки, хранящего ту цифру числа, после которой стоит запятая. Чтобы это соображение оставалось справедливым и в случае отрицательного порядка, мысленно отбрасывают знаковый разряд ячейки и дополняют ее условными, воображаемыми цифровыми разрядами, продолжающими ячейку влево и имеющими номера 0, —1, —2, —3 и т. д. Считают, что в этих условных разрядах записаны нули, например:



Название «машина с плавающей запятой» происходит от того, что при записи чисел в ее ячейках запятая помещается (с помощью соответствующей записи в коде порядка) после любого фактического или условного разряда ячейки.

Представление чисел с плавающей запятой увеличивает диапазон применяемых чисел, но усложняет общий вид числа, так как требуется некоторое количество дополнительных разрядов для изображения кода порядка числа. Широта диапазона чисел делает ненужным применение масштабных коэффициентов, что облегчает использование машины.

Представление чисел с помощью электрических сигналов

Для того чтобы цифровая машина могла производить вычислительные операции с вводимыми в нее числами и командами, последние необходимо преобразовать в серии электрических сигналов. Для представления чисел в двоичной системе в машине следует обеспечить физическое воспроизведение двух различных сигналов, один из которых будет соответствовать «0», а другой— «1».

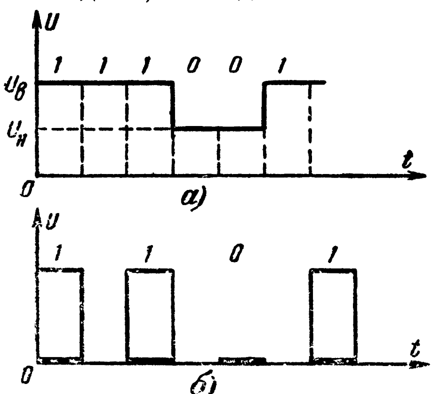


Рис. 5. Представление чисел с помощью электрических сигналов.
а — статический способ; *б* — динамический способ.

В программе обе эти цифры представляются при помощи отверстий (пробивок) на перфокартах или перфолентах; наличие отверстия на определенной позиции означает цифру 1, а отсутствие—цифру 0.

Для внутренних устройств машины существуют два способа представления цифр 0 и 1 при помощи электрических сигналов (рис. 5).

С т а т и ч е с к и й с п о с о б. Этот способ характеризуется двумя различными уровнями напряжения. Высокий уровень $U_в$ может, например, означать «1», а низкий уровень $U_н$ «0». Соответствующий уровень напряжения

сохраняется в течение всего времени представления данной цифры.

Если имеется последовательность нескольких одинаковых цифр: 111 ... или 000 ..., то соответствующий уровень напряжения сохраняется от начала до конца последовательности (рис. 5,*а*).

Динамический способ. В этом случае цифры изображаются при помощи электрических импульсов определенной длительности. Наличие положительного импульса в определенный момент времени может соответствовать «1», а отсутствие положительного импульса или наличие отрицательного импульса — «0» (рис. 5,*б*).

При следовании подряд нескольких «1» напряжение в промежутках между моментами задания цифр падает до нулевого уровня.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Электронные цифровые машины могут выполнять лишь элементарные арифметические и логические действия над вводимыми в нее данными. Поэтому любые сложные математические задачи, например интегрирование дифференциальных уравнений и др., необходимо сначала представить как последовательность элементарных действий. Для этого следует выполнить определенную работу по преобразованию математических выражений, отражающих исследуемый процесс.

Подготовка задачи к виду, удобному для решения ее на цифровой машине, называется программированием.

Программирование задачи слагается из нескольких этапов:

1. Возникающая при исследовании задача должна быть сформулирована математически.

2. Для задачи, ставшей теперь математической, необходимо подобрать соответствующий численный метод решения.

3. Необходимо расчленить числовые формулы на отдельные арифметические операции и ввести определенные логические команды, определяющие характер работы машины.

Совокупность чисел и команд, показывающих, какие действия надо производить над числами, составляет программу решения задачи. Программа является, таким образом, логической основой автоматической работы машины.

4. Наконец, последней ступенью программирования является перевод задачи на язык вычислительной машины; при этом каждое расчетное указание записывается в виде соответствующего управляющего сигнала (команды) на перфоленту или магнитную ленту. Получаемая, таким образом, последовательность управляющих сигналов вводится в цифровую машину.

Очень часто цифровые машины решают задачи, в которых число элементарных арифметических действий доходит до десятков миллионов и больше. Составление последовательной программы для решения таких задач иногда является невыполнимой или очень трудной работой, а сама программа получается очень большой и может не поместиться в «запоминающем устройстве» машины. В этом случае используются свойства цикличности вычислительных процессов, присущие численным методам решения задачи. Это значит, что весь процесс решения состоит в многократном повторении расчетов по одним и тем же формулам, но с подстановкой в эти формулы различных числовых данных.

Таким образом, можно составить подробную программу для выполнения первого этапа вычисления (первого цикла), а для повторения этого этапа над другими числами предусмотреть в программе автоматическое изменение самой программы.

Так, например, для решения некоторых систем алгебраических уравнений при использовании свойства цикличности требуется всего несколько десятков команд, в то время как число элементарных арифметических операций, необходимых для этих вычислений, выражается сотнями тысяч и даже миллионами.

Для того чтобы автоматически выполнить серию операций, к которой сводится решение задачи, нельзя ограничиться только командами, определяющими операции над заранее вводимыми числами. Большинство операций производится над результатами предыдущих операций, поэтому числа, с которыми выполняются операции, приходится принимать в арифметическое устройство из одних ячеек «запоминающего устройства», а результаты посылать в другие ячейки «запоминающего устройства». Вследствие этого операции производятся не только над числами, но и над адресами чисел. В качестве адреса числа обычно берут номер ячейки запоминающего устройства, где хранится данное число. В цифровых машинах приме-

няется одноадресное, двухадресное, трехадресное и четырехадресное программирование; это означает, что в команде могут содержаться один, два, три или четыре адреса. В трехадресной команде первые два адреса означают адреса двух чисел, входящих в операцию, а третий — адрес ячейки, в которую необходимо поместить результат данной операции. Вид операции условно изображается некоторым количеством двоичных разрядов, которые составляют код операции. Приведем пример на составление программы для решения системы двух линейных уравнений с двумя неизвестными по трехадресной системе применительно к машине «Стрела».

Дано:

$$\left.\begin{matrix} Ax+By=C \\ Dx+Ey=F \end{matrix}\right\}$$

при условии, что определитель этой системы не равен нулю, т. е.

$$\begin{vmatrix} A & B \\ D & E \end{vmatrix} \neq 0.$$

Найдем корни этих уравнений по известным правилам:

$$-\begin{matrix} Ax+By=C \\ Dx+Ey=F \end{matrix}\left|\begin{matrix} E \\ B \end{matrix}\right|\begin{matrix} D \\ A \end{matrix}\left|\begin{matrix} ; \\ ; \end{matrix}\right.$$

$$x(AE-BD)=EC-BF$$

$$y(BD-AE)=CD-AF,$$

откуда

$$x=\frac{EC-BF}{AE-BD}; \qquad y=\frac{AF-CD}{AE-BD}.$$

Для вычисления по этим формулам составим программу решения задачи. Исходные данные задачи (числа A, B, C, D, E и F) разместим следующим образом:

Номер ячейки	b + 1	b + 2	b + 3	b + 4	b + 5	b + 6
Содержимое ячейки	A	B	C	D	E	F

Программу будем размещать в ячейках с номерами a+1, a+2, ... Так называемым рабочим ячейкам назна-

чим номера c+1, c+2, ... Для результатов отведем ячейки d+1, d+2, ... Команды начнем составлять в том порядке, в каком следует производить вычисление корней *x* и *y*.

Находим неизвестное *x*:

1-я команда: „Перемножить числа *A* и *E*. Произведение записать в рабочую ячейку (c + 1)".

Условно это записывается так:

a + 1) b + 1 b + 5 c + 1 05.

Здесь a + 1 — номер ячейки запоминающего устройства, которую мы отводим для хранения кода первой команды. Далее, записан код самой команды: b + 1 и b + 5 — адреса чисел *A* и *E*, т. е. номера ячеек, в которых хранятся данные числа, третий адрес в команде. c + 1 — номер ячейки, в которую мы хотим отослать полученное произведение чисел *A* и *E*. Последние две цифры кода команды составляют код операции; в принятой системе команд для вычислительной машины „Стрела" код 05 означает, что выполняется операция умножения.

Далее программа включает следующие команды:

2-я команда: „Перемножить числа *B* и *D*. Произведение записать в ячейку (c + 2)".

a + 2) b + 2 b + 4 c + 2 05.

3-я команда: „От числа *AE*, хранящегося в ячейке (c + 1), отнять число *BD*, хранящееся в ячейке (c + 2). Разность записать в ячейку (c + 1)".

a + 3) c + 1 c + 2 c + 1 03.

4-я команда: „Вычислить величину, обратную числу *AE* — *BD*, хранящемуся в ячейке (c + 1). Результат записать опять в ячейку (c + 1)".

a + 4) c + 1 0000 c + 1 62.

5-я команда: „Перемножить числа *C* и *E*. Произведение записать в ячейку (c + 2)".

a + 5) b + 3 b + 5 c + 2 05.

6-я команда: „Перемножить числа *B* и *F*. Произведение записать в ячейку (c + 3)".

a + 6) b + 2 b + 6 c + 3 05.

7-я команда: „От числа *CE*, хранящегося в ячейке (c + 2), отнять число *BF*, хранящееся в ячейке (c + 3). Разность записать в ячейку (c + 2)".

a + 7) c + 2 c + 3 c + 2 03.

8-я команда: „Перемножить числа (c + 1) и (c + 2). Произведение записать в ячейку (d + 1)".

a + 10) c + 1 c + 2 d + 1 05.

При выполнении этой команды в ячейке (d + 1) будет записана искомая величина *x*.

Нумерация команд (а + 10 и далее), так же как и коды операций, выполнены в восьмеричной системе, т. е. запись 10 соответствует числу 8 в десятичной системе.

9-я команда: „Перемножить числа A и F. Произведение записать в ячейку (с + 2)“.

а + 11) b + 1 b + 6 с + 2 05.

10-я команда: „Перемножить числа C и D. Произведение записать в ячейку (с + 3)“.

а + 12) b + 3 b + 4 с + 3 05.

11-я команда: „От числа AF, хранящегося в ячейке (с + 2), отнять число CD, хранящееся в ячейке (с + 3). Разность записать в ячейку (с + 2)“.

а + 13) с + 2 с + 3 с + 2 03.

12-я команда: „Перемножить числа из ячеек (с + 1) и (с + 2). Произведение записать в ячейку (d + 2)“.

а + 14) с + 1 с + 2 d + 2 05.

После выполнения этой команды в ячейке (d + 2) будет записана вторая искомая величина y.

Полученные величины x и y следует преобразовать из двоичной системы счисления в десятичную.

13-я команда: „Два числа из ячеек (d + 1) и (d + 2) перевести из двоичной системы счисления в десятичную. Результаты записать соответственно в ячейки (d + 1) и (d + 2)“.

а + 15) d + 1 0001 d + 1 70.

Во втором адресе команд преобразования указывается количество подлежащих преобразованию чисел, уменьшенное на единицу (см. ниже команды 14 и 0).

В третьем адресе таких команд указывается номер ячейки, в которую нужно записать полученный результат преобразования первого числа, хранящегося в ячейке, указанной первым адресом.

Теперь предусмотрим вывод из машины полученных результатов.

14-я команда: „Два числа из ячеек (d + 1) и (d + 2) перенести на перфокарты“.

а + 16) d + 1 0001 0000 44.

15-я команда: „Останов“.

а + 17) 0000 0000 0000 40.

Содержимое рабочих ячеек после выполнения каждой команды по 12-ю включительно приведено в следующей таблице.

Для преобразования вводимых в машину чисел из десятичной системы счисления в двоичную нужна еще одна команда.

0-я команда: «Шесть десятичных чисел, первое из которых хранится в ячейке $(b+1)$, преобразовать в двоич-

Номер выполненной команды	Содержимое				
	рабочих ячеек			ответных ячеек	
	c+1	c+2	c+3	d+1	d+2
a + 1	AE	—	—	—	—
a + 2	AE	BD	—	—	—
a + 3	AE—BD	BD	—	—	—
a + 4	$\frac{1}{AE-BD}$	BD	—	—	—
a + 5	$\frac{1}{AE-BD}$	EC	—	—	—
a + 6	$\frac{1}{AE-BD}$	EC	BF	—	—
a + 7	$\frac{1}{AE-BD}$	EC—BF	BF	—	—
a + 10	$\frac{1}{AE-BD}$	EC—BF	BF	$\frac{EC-BF}{AE-BD} = x$	—
a + 11	$\frac{1}{AE-BD}$	AF	BF	$\frac{EC-BF}{AE-BD} = x$	—
a + 12	$\frac{1}{AE-BD}$	AF	CD	$\frac{EC-BF}{AE-BD} = x$	—
a + 13	$\frac{1}{AE-BD}$	AF—CD	CD	$\frac{EC-BF}{AE-BD} = x$	—
a + 14	$\frac{1}{AE-BD}$	AF—CD	CD	$\frac{EC-BF}{AE-BD} = x$	$\frac{AF-CD}{AE-BD} = y$

ные и результаты записать в последовательные ячейки, начиная с $(b+1)$».

a + 0) b + 1 0005 b + 1 72.

Можно считать составление программы оконченным. Собрав все полученные команды, получим в буквенном виде программу для решения системы уравнений, как показано в следующей таблице.

Теперь остается заменить буквы конкретными адресами и получить программу в ее окончательном виде. Допустим, что ячейки 1—17 занимаются для рабочих подпрограмм, вычисляющих значения функций $\sqrt{x}$, $\ln x$, $\sin x$ и т. д. Эти ячейки использовать нельзя, поэтому наша программа будет занимать ячейки с номера 0020 по

Номер ячейки	Команда, содержащаяся в ячейке				Номер ячейки	Команда, содержащаяся в ячейке			
a + 0	b + 1	0005	b+1	72	a + 10	c+1	c+2	d+1	05
a + 1	b + 1	b+5	c+1	05	a + 11	b+1	b+6	c+2	05
a + 2	b + 2	b+4	c+2	05	a + 12	b+3	b+4	c+3	05
a + 3	c + 1	c+2	c+1	03	a + 13	c+2	c+3	c+2	03
a + 4	c + 1	0000	c+1	62	a + 14	c+1	c+2	d+2	05
a + 5	b + 3	b+5	c+2	05	a + 15	d+1	0001	d+1	70
a + 6	b + 2	b+6	c+3	05	a + 16	d+1	0001	0000	44
a + 7	c + 2	c+3	c+2	03	a + 17	0000	0000	0000	40

номер 0037. Далее полагаем b=37. Тогда исходные данные разместятся в ячейках с номера 0040 по номер 0045, что соответствует ячейкам с b+1 до b+6. Основная программа, включающая последовательность команд и исходные данные задачи, займет 22 ячейки (нумерация ячеек ведется в восьмеричной системе счисления).

Полагая c=45, получим для рабочих ячеек номера 0046, 0047 и 0050; полагая d=50, получим для ответных ячеек номера 0051 и 0052. Программа в числах будет иметь вид, приведенный в таблице на стр. 34.

Для того чтобы машина выполнила программу, последнюю нужно ввести в машину; это делается с помощью специальной программы ввода. Программа ввода наносится на отдельную перфокарту и в простейшем случае может содержать одну команду: «Ввести 22 числа с перфокарт в ячейки запоминающего устройства, начиная с ячейки номер 0020», т. е.

0000 0025 0020 0 41

По первой команде программы ввода в машину будет введена основная программа. При этом машина пропустит ячейки с номера 0001 по номер 0017, так как они в нашем случае не используются и заполнены нулями, и выполнит последовательно все команды рабочей программы. После этого машина выдаст на перфокарты готовый результат и остановится.

Программирование задачи и составление программы составляют предварительную часть решения задачи. Эти операции для сложных задач довольно трудоемки и требуют затраты большого количества времени, хороших знаний математики, а также определенного знания исследуемого процесса. Для облегчения процесса программирования очень часто составляются таблицы отдельных

Номер ячейки	Команда, хранящаяся в ячейке			
0020	0040	0005	0040	0 72
0021	0040	0044	0046	0 05
0022	0041	0043	0047	0 05
0023	0046	0047	0046	0 03
0024	0046	0000	0046	0 62
0025	0042	0044	0047	0 05
0026	0041	0045	0050	0 05
0027	0047	0050	0047	0 03
0030	0046	0047	0051	0 05
0031	0040	0045	0047	0 05
0032	0042	0043	0050	0 05
0033	0047	0050	0047	0 03
0034	0046	0047	0052	0 05
0035	0051	0001	0051	0 70
0036	0051	0001	0000	0 44
0037	0000	0000	0000	0 40
0040	A	Исходные данные		
0041	B			
0042	C			
0043	D			
0044	E			
0045	F			
0046		Рабочие ячейки		
0047				
0050				
0051		Ответные ячейки		
0052				

подпрограмм часто встречающихся коротких вычислительных операций. Эти подпрограммы составляют специальные картотеки, в которых они тщательно классифицируются.

Отыскание нужных подпрограмм, из которых составляется полная программа, может быть автоматизировано и произведено с помощью самой цифровой машины. Для этого на перфоленте специальным кодом записываются все программы и подпрограммы собранной картотеки Составляя программу новой задачи, достаточно составить собирающую программу, в которую войдут в определенной последовательности лишь опознавательные коды нужных нам подпрограмм. Читая ленту-картотеку, машина отберет лишь те подпрограммы, которые нужны для данной задачи, и соберет их в нужной последовательности. Такой метод составления программы значительно облегчает программирование.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Электронные цифровые машины с программным управлением при выполнении вычислительной работы до некоторой степени воспроизводят действия человека, пользующегося арифмометром и тщательно разработанной инструкцией. Это сходство видно из сопоставления схемы действий человека при выполнении вычислений на арифмометре со схемой цифровой машины (рис. 6).

При выполнении сложного расчета вычислитель использует карандаш, лист бумаги и арифмометр. Первым шагом

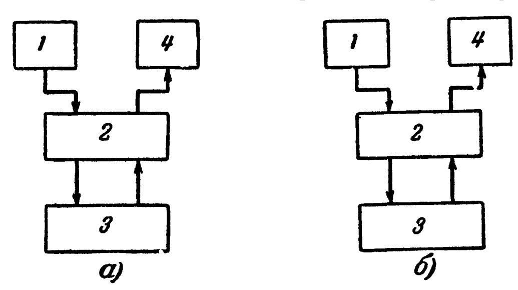


Рис. 6. Сопоставление схемы действий человека и работы машины при вычислениях.

а — организация вычислительной работы на арифмометре (*1* — исходные данные; *2* — лист записи промежуточных данных; *3* — арифмометр; *4* — запоминание результатов); *б* — упрощенная схема цифровой вычислительной машины (*1* — входное устройство; *2* — оперативное запоминающее устройство; *3* — арифметическое устройство; *4* — выходное устройство).

расчета являются восприятие исходных данных и запись их на лист бумаги; затем выполняется механическая работа на арифмометре с записью промежуточных результатов на бумаге. Последним этапом процесса является запоминание конечного результата человеком или запись ответа задачи на другом листе бумаги. Все этапы такой работы изображены на рис. 6,*а*.

Аналогичным образом выполняются вычислительные операции и на цифровых машинах. Однако прежде чем переходить к описанию самих действий машины, следует сделать существенное замечание. Цифровая машина в отличие от человека сама не может выполнить ни одной элементарной операции, не предусмотренной в конструкции машины и не указанной в программе, составленной человеком.

Первым этапом работы цифровой машины является передача с помощью входного устройства (рис. 6,*б*) исход-

ных данных для расчета в оперативное запоминающее устройство (соответствующее листу бумаги на рис. 6,*а*). Затем производится решение задачи арифметическим устройством, управляемым командами введенной программы. Готовый результат посылается в другие ячейки оперативного запоминающего устройства, а затем численный результат передается в выходные устройства машины для прочтения его оператором.

Теперь перейдем к рассмотрению полной схемы цифровой машины. На рис. 7 показаны функциональная схема

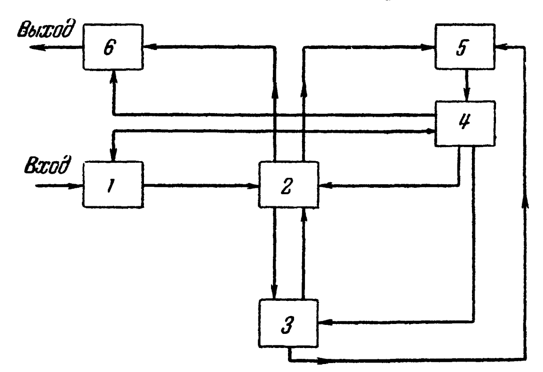


Рис. 7. Функциональная схема электронной цифровой машины.

1 — входное устройство; 2 — оперативное запоминающее устройство; 3 — арифметическое устройство; 4 — устройство автоматического управления; 5 — устройство контроля; 6 — выходное и печатающее устройство.

цифровой вычислительной машины и взаимодействие между отдельными устройствами ее.

Как видно из схемы, в состав цифровой машины, кроме перечисленных выше элементов (рис. 6,*б*), входят также устройства контроля операциями и управления работой машины.

До того как машина начнет решать задачу, математик-программист должен составить программу решения ее и нанести эту программу в закодированном виде на перфокарты, перфоленту, магнитную ленту, магнитную проволоку или другую среду, принятую для данной машины. В таком виде программа считается подготовленной для введения ее в машину.

Взаимодействие всех блоков машины при решении задачи происходит следующим образом: во входное устройство вводится подготовленная программа, которая считы-

вается соответствующими устройствами (электрическими контактами, фотоэлементами и т. д.) и поступает в устройство управления и оперативное запоминающее устройство. Каждая команда, поступившая в устройство управления, в соответствии с кодом ее возбуждает те или иные управляющие цепи, в результате чего стандартные сигналы, вырабатываемые в устройстве управления, обеспечивают такое взаимодействие элементов арифметического устройства, что действие, указанное в данной команде, оказывается выполненным. Сразу после выполнения одной команды в устройство управления автоматически направляется следующая команда из оперативного запоминающего устройства. Данные, полученные в результате выполнения каждой команды, отсылаются в запоминающее устройство, откуда они могут быть переданы опять либо в арифметическое устройство, если это требуется для последующих вычислений, либо в выходное устройство машины, если это — конечный результат.

Время выполнения команды зависит от вида операции, которую по этой команде машина должна выполнить. Например, команда сложения или вычитания двух чисел выполняется за малый промежуток времени, а умножение или деление требует значительно большего времени. Общее время решения задачи определяется суммой времен, необходимых для выполнения всех команд данной программы.

Взаимодействие многочисленных элементов машины в действительности более сложно и зависит от типа машины.

Рассмотрим теперь задачи каждого блока машины в отдельности.

Входные устройства обеспечивают ввод в машину программы вычислений, содержащей последовательность команд и исходные данные для решения задачи. Работа входных устройств основывается, например, на осуществлении контакта между электрическими цепями машины при движении перфорированной бумажной ленты. Контакт между цепями может быть осуществлен либо при помощи обычных щеточных щупов, либо при помощи фотоэлектрических устройств. В последнем случае пучок света непрерывно падает на движущуюся перфоленту. В тот момент, когда на пути пучка света проходит отверстие перфоленты, на фотоэлемент падает свет и в электрической цепи возникает импульс напряжения. Входное устрой-

ство определяет скорость считывания данных с перфоленты и частично общую скорость работы машины.

Оперативное запоминающее устройство является местом хранения промежуточных результатов и команд. Оперативное запоминающее устройство непосредственно связано с арифметическим устройством и блоком автоматического управления и по быстродействию должно соответствовать последним. Оперативные запоминающие устройства выполняют на магнитных барабанах, различных линиях задержки, электронно-лучевых трубках, магнитных сердечниках. Более подробное рассмотрение их будет дано в следующих разделах.

Арифметическое устройство выполняет элементарные арифметические операции: сложение, вычитание, деление и умножение, а иногда и извлечение корня. Основным арифметическим действием, к которому сводятся все остальные, является сложение, поэтому наиболее важным узлом арифметического блока машины является сумматор. Схема арифметического блока определяется последовательностью выполнения операций над разрядами числа; различают арифметические устройства последовательного и параллельного действия. Важное значение для схемы арифметического устройства имеет также принятая в машине система счисления. В арифметическом блоке машины, который должен быть достаточно быстродействующим, применяются чаще всего электронные схемы или схемы на кристаллических диодах и триодах.

Устройство управления обеспечивает автоматическое управление всеми устройствами для выполнения операций по заданной программе. Оно выполняет выборку кодов чисел из ячеек запоминающего устройства, выборку команд, по которым нужно выполнять необходимые действия, и отсылает результаты вычислений в соответствующие ячейки запоминающего устройства или на выходное устройство машины. Основным элементом устройства управления является дешифратор, который преобразует цифровое представление команд и чисел в необходимые управляющие сигналы. Из устройства управления эти сигналы посылаются в другие блоки машины, обеспечивая автоматически требуемые связи между элементами и узлами машины, необходимые для производства операций.

Устройство контроля работы машины позволяет контролировать в процессе вычислений как работу машины в целом, так и работу отдельных элементов и узлов ее

с пульта управления. В случае появления ошибок при выполнении операций устройство контроля выдает соответствующий сигнал на пульт управления оператору или останавливает машину, так как наличие ошибок говорит о неисправности машины.

Случайные ошибки вычислений определяются при помощи различных методов поверочных вычислений по специальным программам или вычислением по методу «в две руки».

Выходное устройство служит для записи полученных результатов в удобном для рассмотрения и изучения виде. Выдача данных может производиться в виде числовых таблиц или графиков. Работа выходных устройств основана на электромеханическом, электронном или фотопечатающем принципах действия. Примером электромеханического выходного устройства является электрическая пишущая машинка. Электронным выходным устройством является электронно-лучевая трубка, на экране которой воспроизводятся цифры путем подачи комбинации сигналов на отклоняющие пластины.

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВЫХ МАШИН

В состав электронной цифровой машины входит небольшое количество типов основных, хорошо отработанных стандартных элементов, объединенных в блоки и взаимосвязанных между собой каналами для передачи информации и специальными цепями для управляющих сигналов. Эти элементы, определенным образом взаимодействуя, позволяют выполнять арифметические и логические операции, заданные программой.

К числу стандартных элементов относятся счетчики, коммутирующие схемы, элементы запоминающих устройств.

Счетчики. Счетчики могут применяться в арифметическом устройстве цифровой машины для выполнения элементарных арифметических действий (в основном — сложения), а также в качестве элемента быстродействующего запоминающего устройства; работа их при этом идентична. Счетчики имеют следующие особенности:

1. В каждый момент времени счетчик может находиться в одном из нескольких возможных устойчивых состояний; число этих состояний устанавливается заранее.

2. Каждый счетчик может влиять на другие устройства, в частности на другие счетчики, и воспринимать

влияние этих устройств. Это влияние будет различным в зависимости от состояния данного счетчика и взаимодействующих с ним устройств.

В зависимости от принятой системы счисления счетчик должен иметь то или иное количество устойчивых состояний равновесия. Как видно из приведенной таблицы в зависимости от количества цифр, необходимых для записи чисел в данной системе счисления, изменяется и количество необходимых устойчивых состояний.

Система счисления	Цифры	Количество устойчивых состояний
Двоичная	0,1	2
Десятичная	0,1,2,...,9	10
Восмеричная	0,1,2,...,7	8

В цифровых машинах чаще всего применяются счетчики, имеющие два или десять устойчивых состояний. Рассмотрим особенности этих счетчиков.

Счетчик с двумя устойчивыми состояниями. Счетчиком такого типа является, например, обыкновенная триггерная ячейка (триггер), состоящая из двух электронных ламп (например, триодов), которая может находиться в одном из двух устойчивых состояний, в каждом из которых проводит ток только одна из ламп. Это устройство можно рассматривать как усилитель, выходной ток или выходное напряжение которого под действием внешних сигналов изменяется скачком от одной постоянной величины до другой; такая ячейка по своему действию напоминает реле. В случае применения двоичной системы счисления употребление триггерной ячейки очень удобно. Обозначив одно устойчивое состояние счетчика через «0», а другое через «1», можно, подавая на вход схемы импульсы, последовательно заставлять счетчик принимать состояния 0, 1, 0, 1 и т. д. Таким образом, триггер может выполнять функции одноразрядного двоичного счетчика.

Триггерные схемы могут осуществляться также с использованием полупроводниковых триодов. При этом работа схем будет в принципе одинаковой, хотя имеются некоторые различия. Рассмотрим кратко особенности работы каждого вида триггера применительно к электронным цифровым машинам.

Триггер, собранный на электронных лампах, имеет много схемных разновидностей, которые описаны в литературе по импульсным устройствам. В качестве примера рассмотрим работу триггера, собранного на двойном триоде типа 6Н8С (рис. 8).

Напряжение с анода левого триода через сопротивление R_3 подается на сетку правого триода и, наоборот, напряжение с анода правого триода подается на сетку левого через сопротивление R_1.

Предположим, в некоторый момент времени схема находится в таком состоянии, что левый триод открыт, а правый закрыт. Тогда напряжение на аноде открытого триода мало по сравнению с напряжением на аноде закрытого триода. Так как открытый триод проводит ток, то бо́льшая часть анодного напряжения падает на анодном сопротивлении R_{a1}, а на самом триоде падает лишь незначительная его часть. Наоборот, в закрытом триоде анодный ток равен нулю и все напряжение источника анодного напряжения падает на триоде. Поэтому с анода открытого триода на сетку закрытого подается значительно меньшее напряжение, чем с анода закрытого на сетку открытого. Отрицательное смещение — $E_{см}$, поданное на сетки обоих триодов, выбирается таким, чтобы правый триод был закрыт, несмотря на наличие небольшого положительного напряжения, поданного с анода открытого левого триода на его сетку. При этом левый триод открыт, так как положительное напряжение, поданное на его сетку с анода правого триода, значительно больше, чем $E_{см}$.

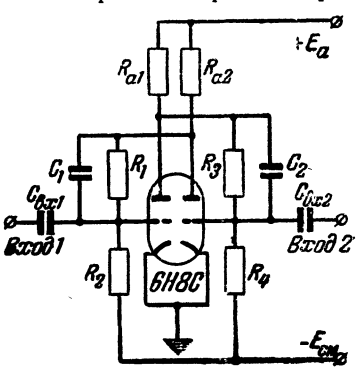


Рис. 8. Схема триггера на электронной лампе.

Таким образом, благодаря наличию связи между обоими триодами через сопротивления R_1 и R_3 рассмотренное состояние схемы является устойчивым и будет сохраняться сколь угодно долго. Триггер может быть выведен из этого устойчивого состояния путем подачи положительного импульса на сетку закрытого правого триода или отрицательного импульса на сетку открытого левого триода.

Рассмотрим случай подачи отрицательного импульса на сетку левого триода (вход *1*) с такой амплитудой, которой достаточно для того, чтобы закрыть его. При этом произойдет уменьшение анодного тока левого триода, что вызовет увеличение положительного анодного напряжения, которое передается на сетку правого триода. Правый триод откроется, возникший же в нем анодный ток вызовет уменьшение анодного напряжения, а это в свою очередь приведет к уменьшению положительного напряжения на сетке левого триода, что еще больше уменьшит значение анодного тока последнего, и т. д.

Описанный процесс протекает лавинообразно, причем уменьшение анодного тока в левом триоде и увеличение его в правом приведут к тому, что левый триод закроется, а правый откроется. Таким образом, схема перейдет в новое устойчивое состояние равновесия, которое тоже может сохраняться сколько угодно долго. Возвращение триггера обратно в предыдущее устойчивое состояние можно осуществить путем подачи импульса отрицательной полярности на вход *2*.

Время переброса такого триггера из одного состояния в другое весьма мало и составляет доли микросекунды. Емкости C_1 и C_2 служат для ускорения срабатывания триггера, так как они шунтируют высокоомные сопротивления R_1 и R_3 и представляют во время переброса малые сопротивления.

Триггер на электронных лампах обеспечивает частоту срабатывания до 1 *Мгц*, что позволяет вести решение математических задач с очень высокой скоростью.

Триггерная схема с двумя состояниями равновесия может быть легко осуществлена с применением плоскостных полупроводниковых триодов. На рис. 9 изображена такая схема, которая может быть выполнена на германиевых триодах типа П1 или П2. В схеме применено автоматическое смещение.

Положительные входные импульсы с амплитудой 2—10 *в* перебрасывают схему из одного состояния в другое, т. е. закрытый и открытый триоды меняются местами. Скачки напряжения на коллекторе (выход) составляют 10—20 *в*. Рабочая частота в схеме может достигать 100 *кгц*. Фронты выходных импульсов — порядка микросекунд. Триггерные схемы такого рода могут работать друг за другом в последовательной цепочке.

Схема триггера на точечных триодах типа С1А приве-

дена на рис. 10. Предельная рабочая частота схемы составляет 0,3—0,5 *Мгц*. В схеме имеется общий вход для положительных входных импульсов. Выходные импульсы на рис. 10 снимаются с коллектора триода $ПТ_2$, но могут сниматься и с коллектора триода $ПТ_1$.

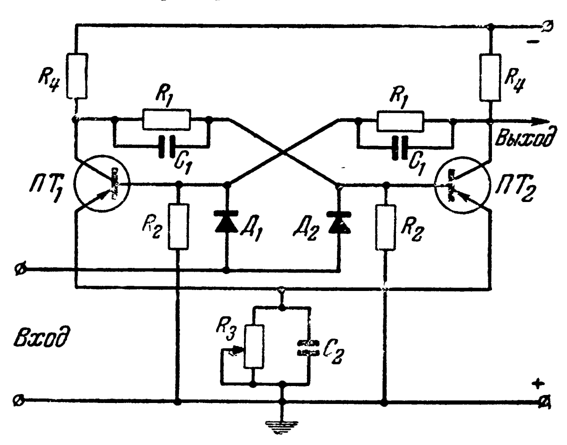


Рис. 9. Схема триггера на плоскостных триодах.

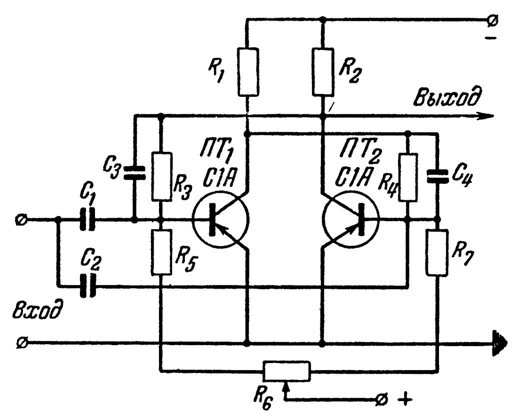


Рис. 10. Схема триггера на точечных триодах.

С ч е т ч и к   с   д е с я т ь ю   у с т о й ч и в ы м и   с о с т о я н и я м и. Счетчики с десятью устойчивыми состояниями применяются обычно при использовании десятичной системы счисления. Такой счетчик представляет собой счетное кольцо, состоящее из десяти триггерных ячеек. Выход каждой ячейки соединен через разделительную

емкость со входом последующей ячейки. Все десять ячеек пронумерованы от 0 до 9, что соответствует цифрам одного разряда. Схема такого кольца изображена на рис. 11.

Будем считать нормальным состоянием триггера положение, когда правый триод открыт, а левый закрыт. Противоположное состояние будем считать возбужденным. Пусть в схеме на рис. 11 зафиксировано положение, когда ячейка, соответствующая цифре «0», возбуждена, а остальные — нет, что обеспечивается выбором рабочего режима ламп. На сетки триггера подается отрицательное запирающее напряжение, которое создается за счет падения напряжения на катодном сопротивлении. При соответствующих величинах катодного сопротивления правой и левой половин триггера создаются условия, когда может быть возбужден только один триггер. В данном случае все разряды, кроме нулевого, погашены, о чем сигнализирует горящая неоновая лампочка $Л_2$.

Вход каждого триггера (правый катод) соединен с общей входной шиной счетного кольца. Если теперь подать на вход отрицательный импульс, то он воздействует только на возбужденную ячейку, перебрасывая ее в другое устойчивое состояние. Отрицательный импульс не окажет влияния на невозбужденные триггеры, правые половины которых находятся в открытом состоянии.

При переходе возбужденного триггера в нормальное состояние в анодной цепи левой половины триггера образуется положительный импульс, который передается на сетку лампы следующего триггера через емкость C_4, перебрасывая его из нормального состояния в возбужденное, т. е. триггер, обозначенный номером 1, зафиксирует цифру, соответствующую одному поданному на вход импульсу.

Таким образом, каждый последующий импульс обеспечивает передачу возбужденного состояния на следующий по порядку триггер. Если обозначить номер возбужденного триггера цифрой, которая фиксируется счетчиком, то приход каждого последующего импульса будет эквивалентен прибавлению 1 к зафиксированной до этого цифре. При переходе в результате сложения через цифру 10 в специальном устройстве запоминается необходимость переноса, а само счетное кольцо устанавливается в соответствии с цифрой единиц получившегося двухзначного числа. Например, кольцо зафиксировало цифру 8 и на вход было подано еще 5 импульсов; тогда счетное кольцо последовательно пройдет ступени 9, 0, 1, 2 и установится на третьей

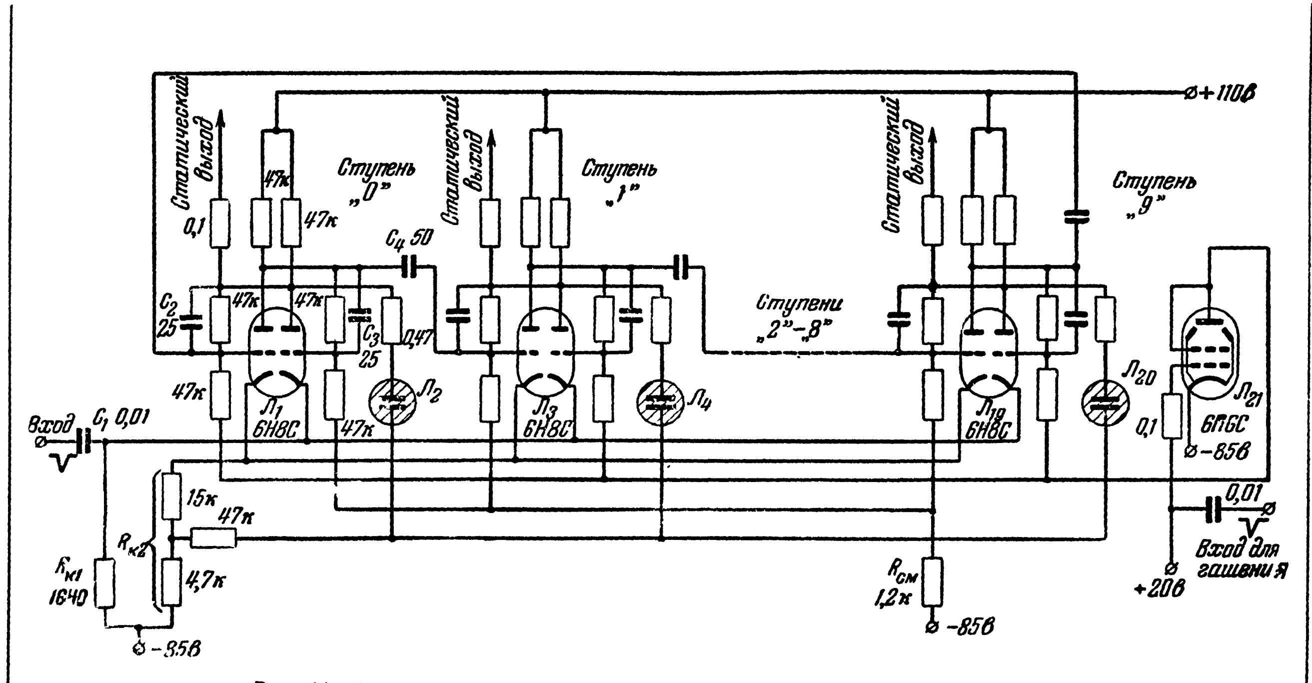


Рис. 11. Десятичное счетное кольцо с использованием десяти триггеров.

ступени (8+5=13). Однако при переходе возбужденного состояния со ступени 9 на ступень 0 в специальное устройство посылается импульс, указывающий на необходимость переноса, который затем и осуществляется путем подачи одного импульса в следующий разряд.

Лампа 6П6С служит для гашения счетного кольца, т. е. для установки его на нуль. Анод этой лампы соединен с сетками правых половин триггеров *1—9*, за исключением ступени 0, где он соединен с сеткой левой половины. Сетки всех остальных ламп через сопротивление $R_{см}=$ $=1\,200$ *ом* соединены с катодом лампы 6П6С (зажим —85 *в*). В нормальном состоянии лампа 6П6С проводит ток, и так как ее внутреннее сопротивление невелико (около 1 200 *ом*), то сетки всех ламп кольца имеют одинаковый потенциал смещения. Для того чтобы погасить счетное кольцо, на сетку лампы 6П6С подается отрицательный гасящий импульс. Лампа запирается, в результате чего ее анодный потенциал резко возрастает. При этом сетки правых половин триггеров *1—9* и сетка левой половины нулевого триггера получают положительный импульс, который установит ступень «0» в возбужденное состояние, а все остальные — в нормальное, т. е. счетчик будет погашен.

Рассмотренная схема десятичного счетчика может быть значительно упрощена. Схема счетчика, состоящая из четырех триггерных ячеек, может также производить пересчет импульсов по модулю 10; при этом из 16 возможных устойчивых состояний всех четырех триггеров используются только 10 для представления цифр 0—9.

Рассмотрим работу такой схемы (рис. 12). В начальный период все триггерные ячейки находятся в таком положении, когда правые триоды $Л_2$, $Л_4$, $Л_6$ и $Л_8$ открыты, а левые — закрыты. В этом случае неоновые лампочки, подключенные к части анодных нагрузочных сопротивлений, погашены, так как падение напряжения на них равно нулю. С приходом первого отрицательного импульса в цепь катода $Л_9$ происходит переброс первой ячейки, правый триод запирается, а левый открывается; неоновая лампочка $Л_{15}$ загорается, и на счетчике устанавливается число 0001, соответствующее одному импульсу. Приход второго импульса перебросит первую ячейку в первоначальное положение, а возникший при этом отрицательный импульс в анодной цепи правого триода $Л_2$ перебросит вторую ячейку в положение, при котором правый триод $Л_4$ закроется, а левый откроется; при этом загорится неоновая

лампочка $Л_{16}$ и счетчик зафиксирует два импульса, что будет соответствовать числу 0010. Так, схема будет поочередно фиксировать число импульсов до 7. После прохождения седьмого импульса левые триоды первых трех ячеек будут открыты. С приходом восьмого импульса эти ячейки закроются и окажутся в первоначальном состоянии. Однако одновременно перебрасывается четвертая ячейка. Ее левый триод открывается, а правый запирает-

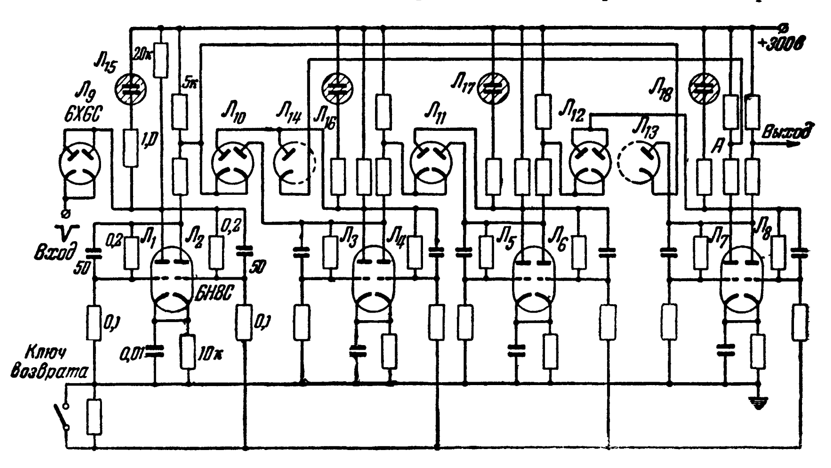


Рис. 12. Схема десятичного счетчика с использованием четырех триггерных ячеек и цепей обратной связи (данные всех ячеек одинаковы).

ся. Благодаря уменьшению напряжения в точке *А* диод $Л_{14}$ открывается и передается отрицательный скачок на сетку правого триода второй ячейки ($Л_4$). Поэтому в момент прихода восьмого импульса одновременно с перебросом четвертой ячейки вторая ячейка приходит в такое состояние, при котором лампа $Л_4$ заперта, а $Л_3$ открыта

Вторая ячейка теперь не сможет изменить своего положения до тех пор, пока лампа $Л_7$ снова не закроется. Девятый импульс открывает левый триод первой ячейки, а десятый его вновь закроет. Появляющийся при этом отрицательный скачок напряжения на аноде правого триода первой ячейки через диод $Л_{13}$ поступит на последнюю ячейку и вызовет ее переброс: $Л_8$ откроется, $Л_7$ закроется. Поэтому после десятого импульса схема приходит в первоначальное состояние.

Рассмотренный счетчик эквивалентен по своему действию счетчику, состоящему из десяти триггерных ячеек,

но зато обеспечивает экономию в триггерных ячейках в 2,5 раза.

Одним из основных показателей описанных счетчиков является разрешающее время, т. е. тот минимальный интервал времени между двумя следующими друг за другом импульсами, когда эти импульсы воспринимаются раздельно.

Коммутирующие схемы

В качестве коммутирующих схем в цифровых вычислительных машинах широкое применение находят различные вентильные и разделительные схемы. Эти схемы служат для переключения блоков и отдельных элементов машины, преобразования данных, разделения нескольких цепей.

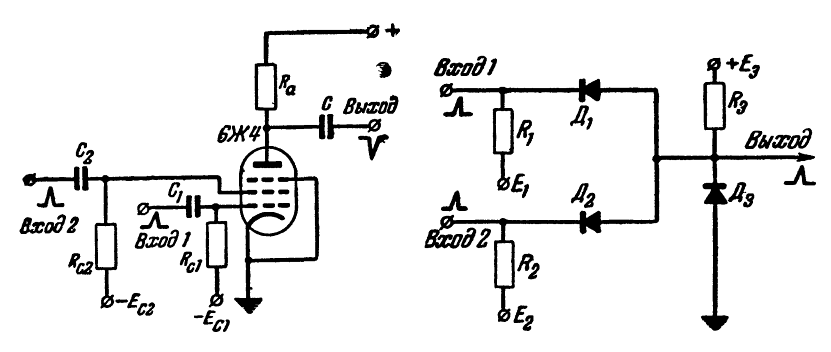


Рис. 13. Схема совпадений на пентоде 6Ж4.

Рис. 14. Схема совпадений на полупроводниковых диодах.

Вентильные схемы. Обычной вентильной схемой является схема совпадений, которая имеет один выход и два или более входа. Такая схема может быть легко осуществлена с помощью электронной лампы, имеющей две или более управляющие сетки (например, лампа 6Ж4). В нормальном состоянии обе сетки находятся под отрицательными напряжениями $-E_{c1}$ и $-E_{c2}$ (рис. 13), вследствие чего лампа заперта. При одновременной подаче на обе сетки импульсов положительной полярности лампа открывается и отрицательный импульс с анодной нагрузки может быть подан через разделительную емкость *C* в другие цепи. Таким образом, схема совпадения осуществляет логическую операцию «*и—и*», т. е. на выходе появляется импульс только тогда, когда импульс будет одновременно и на сетке *1*, и на сетке *2*. При подаче импульса только

на один вход лампа не открывается и выходного импульса не образуется.

Схема совпадения может быть собрана также на германиевых диодах (рис. 14). При отсутствии входных импульсов диоды $Д_1$ и $Д_2$ проводят ток и выходной потенциал будет ниже E_3 на величину падения напряжения на сопротивлении R_3 от токов через $Д_1$ и $Д_2$. При одновременной подаче положительных импульсов на входы *1* и *2* диоды $Д_1$ и $Д_2$ закрываются; в этом случае также не будет

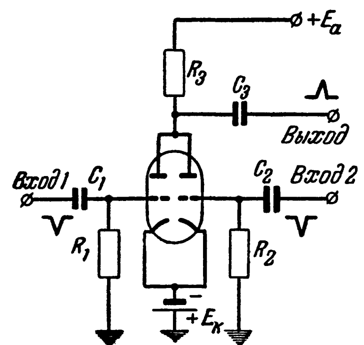


Рис. 15. Схема совпадений на двойном триоде.

Рис. 16. Схема совпадений в сочетании с катодным повторителем.

протекать ток через диод $Д_3$ и на выходе появится положительный импульс.

Схема совпадения может быть осуществлена с использованием двух ламп. На рис. 15 изображена схема на двойном триоде с общей анодной нагрузкой. Обе сетки в нормальном состоянии имеют положительное смещение, и поэтому обе лампы открыты.

Параметры схемы подбираются таким образом, чтобы при запирании одной из ламп ток через сопротивление анодной нагрузки R_3 и выходное напряжение на ней почти не изменялись. Если же отрицательные импульсы подаются на обе сетки одновременно, то оба триода запираются; это вызывает повышение анодного напряжения до напряжения источника анодного питания, и таким образом, с выходной нагрузки R_3 можно снять импульс положительной полярности.

Если общее нагрузочное сопротивление поместить в цепь катода, то получится комбинация схемы совпадения с катодным повторителем. Указанная схема приведена на рис. 16.

В нормальных условиях обе лампы открыты. Параметры схемы подбираются такими, чтобы при проводящих лампах потенциал катода был положительным по отношению к земле. Если входной сигнал в виде отрицательного импульса подается только на одну сетку, это дает, как и в предыдущем случае, лишь незначительное изменение напряжения на общем катодном сопротивлении. Если же отрицательные импульсы подаются на обе сетки одновременно, то обе лампы запираются и на катодном сопротивлении напряжение падает. Таким образом, с выхода схемы снимается отрицательный импульс. Достоинством схемы является низкое выходное сопротивление ее, позволяющее подключать значительную нагрузку, а также то, что выходной импульс имеет одинаковую полярность с входными импульсами.

Приведенные схемы совпадения можно также осуществить и на полупроводниковых триодах.

Разделительные схемы. Эти схемы необходимы для развязки входных и выходных цепей. Такие схемы применяются, если требуется несколько входных цепей связать с выходной линией, не связывая входные цепи между собой. При этом каждая из входных цепей может передавать импульс только в выходную линию и не может передавать в любую другую входную линию.

Таким образом, разделительная схема выполняет логическую операцию «*или—или*», т. е. импульс в выходную линию может быть передан *или* из первой цепи, *или* из второй цепи.

Разделительные схемы используются, например, во входных цепях счетчиков, которые необходимо запускать импульсами, подаваемыми с нескольких входов, например с обычного входа и входа для переноса из счетчика низшего разряда.

Простейшей разделительной схемой может служить схема с двойным триодом, имеющим общую анодную нагрузку (рис. 17). Входные импульсы подаются на сетки триодов, и импульс с каждого входа может усиливаться своей половиной лампы; при этом входные цепи между собой не связаны. С анода усиленные импульсы могут подаваться в другие цепи.

Другая разделительная цепь с тремя входами изображена на рис. 18. Здесь при отсутствии входных импульсов все диоды заперты. При подаче на один из входов отрицательного импульса соответствующий диод открывается

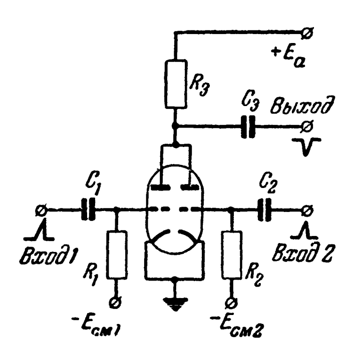


Рис. 17. Разделительная схема с двумя входами.

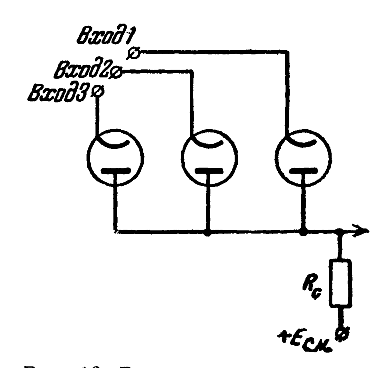


Рис. 18. Разделительная схема с тремя входами.

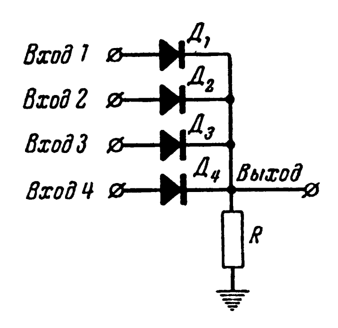


Рис. 19. Разделительная схема на полупроводниковых диодах

и с нагрузки снимается отрицательный импульс напряжения, равный по длительности входному импульсу.

Также сравнительно легко может быть осуществлена разделительная цепь с полупроводниковыми диодами (рис. 19).

Одноразрядный двоичный сумматор

Одноразрядный двоичный сумматор является элементом арифметического устройства, предназначенным для производства элементарных арифметических действий над одним разрядом числа. В арифметическом устройстве параллельного действия может быть столько таких сумматоров, сколько разрядов в числах, над которыми производятся операции.

Сумматор может быть выполнен в зависимости от принятой системы счисления с двоичными или десятичными счетчиками, которые являются основными элементами сумматора. Кроме того, в сумматор входят различные схемы коммутации, рассмотренные в предыдущем разделе.

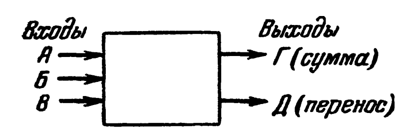


Рис. 20. Условное обозначение одноразрядного двоичного сумматора.

Условное обозначение одноразрядного двоичного сумматора приведено на рис. 20; сумматор имеет три входа и два выхода. Входы обозначены буквами *А*, *Б*, *В*, выходы—*Г*, *Д*. Сумматор устроен так, что при подаче высокого напряжения на все три его входа на обоих его выходах возникает высокое напряжение. При подаче высокого напряжения на какие-либо два из его входов на выходе *Г* напряжение остается низким, а на выходе *Д* становится высоким. При подаче высокого напряжения на какой-либо

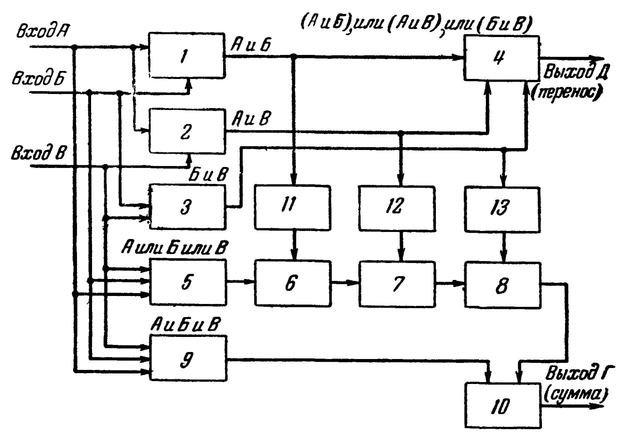


Рис. 21. Функциональная схема одноразрядного двоичного сумматора.

1 — 3, 6 — 8 и *9* — вентили совпадения; *4, 5* и *10* — разделительные схемы; *11 — 13* — инверторы.

один из входов на выходе *Г* напряжение будет высоким, а на выходе *Д* — низким. При этом предполагается, что высокое напряжение означает цифру 1, а низкое — 0.

Для реализации указанных выше случаев составим скелетную схему из элементарных вентильных и разделительных цепей (рис. 21).

Первый случай осуществляется с помощью вентиля *9*, выходной импульс которого через разделительную цепь *10* подается в выходную шину счетчика. Кроме того, будет иметь место и импульс переноса по шине *Д*, так как при подаче высокого напряжения на три входа автоматически будет иметь место случай подачи двух высоких напряжений на два из трех входов.

Для выполнения второго случая входы *А*, *Б* и *В* подаем на вентили *1*, *2* и *3*, реализующие *А* и *Б*, *А* и *В*, *Б* и *В*.

Третий случай осуществляется с помощью разделительной цепи *5*; выход из этой цепи подается на выходную шину *Г* через вентили *6*, *7*, *8*. Наличие вентилей *6*, *7*, *8* вызвано необходимостью не пропускать импульс из разделительной цепи *5* в выходную шину *Г*, если имеет место случай подачи на входы *А* и *Б*, или *А* и *В*, или *Б* и *В* двух импульсов.

АРИФМЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Совокупность некоторого числа счетчиков, переключательных схем и запоминающих элементов, соединенных в определенном порядке для производства арифметических и логических операций, называется арифметическим устройством. Арифметическое устройство является обязательным для каждой электронной цифровой машины и выполняет два вида элементарных операций: сложение и сдвиг. Такие действия, как вычитание, умножение, а в некоторых случаях деление и извлечение корня, выполняются посредством комбинации операции сложения с последующим сдвигом кодов, осуществляемым с помощью устройства управления.

Арифметическое устройство может работать по последовательному или параллельному принципу.

Арифметическое устройство последовательного типа. В этом случае цифры обоих слагаемых последовательно складываются в одном и том же одноразрядном сумматоре. Сложение цифр чисел начинается с самого младшего разряда. После того как закончилось сложение кодов младшего разряда, на вход сумматора поступают цифры следующего, более старшего разряда чисел; при этом, если при сложении предыдущего разряда возник перенос, то сигнал переноса запоминается во вспомогательном элементе *2* (см. рис. 22) и код цифры переноса поступает на третий вход сумматора одновременно с поступлением цифры следующего разряда числа.

Процесс сложения продолжается до тех пор, пока не будут получены суммы всех разрядов слагаемых. На рис. 22 показана блок-схема такого сумматора. На вход *а* последовательно подаются цифры первого слагаемого, на вход *б* — цифры второго слагаемого. На выходе *г* получается результат сложения двух слагаемых — их сумма. Одноразрядный сумматор (*1*, рис. 22) имеет также выход *д*, служащий для сигналов переноса.

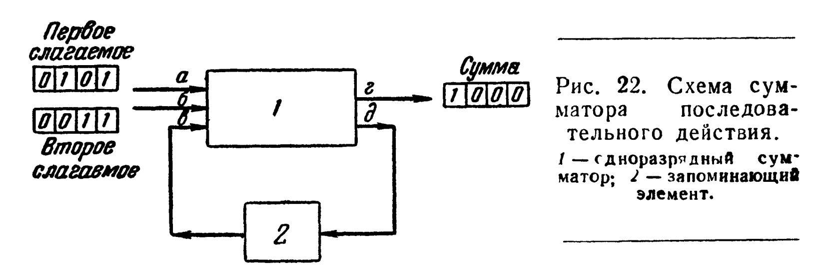


Рис. 22. Схема сумматора последовательного действия.

1 — одноразрядный сумматор; *2* — запоминающий элемент.

Одноразрядный сумматор должен работать так, чтобы при наличии импульса на входе *а* или *б* на выходе *г* также появлялся импульс.

При одновременной подаче импульсов на входы *а* и *б* на выходе *г* импульса не должно быть, зато должен быть импульс на выходе *д*, который, пройдя через запоминающий элемент (устройство задержки на один разряд), должен поступить на вход *в* в момент, когда на входы *а* и *б* подаются импульсы следующего, более высокого разряда. Это равносильно операции переноса в следующий, более старший разряд (1+1=0 и 1 в перенос). В приведенной ниже таблице даны различные возможные варианты подачи на входы *а*, *б*, *в* импульсов и получающиеся при этом результаты на выходах *г* и *д*.

Входы			Выходы	
а	*б*	*в*	*г*	*д*
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Сумматор последовательного действия является основным узлом арифметического устройства последовательного типа.

Арифметическое устройство последовательного типа имеет простую схему, но обладает невысокой скоростью производства операций, так как при последовательном суммировании разрядов требуется n тактов сложения (если число имеет n разрядов). Однако при проектировании про-

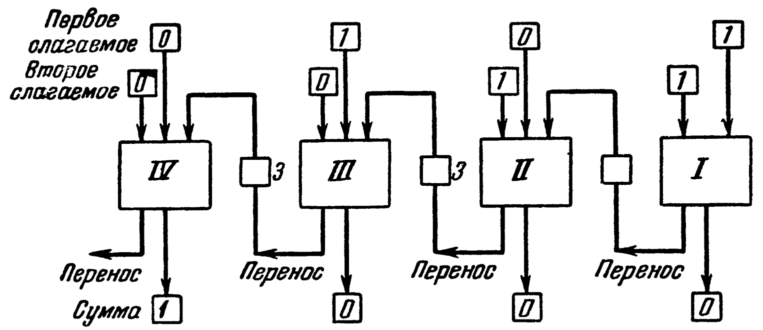


Рис. 23. Схема сумматора параллельного действия.
I—IV — одноразрядные счетчики сумматора; *З* — запоминающие ячейки в цепях переноса.

стых цифровых машин вопрос упрощения схемы сумматора может иметь преобладающее значение перед вопросом скорости производства операции.

А р и ф м е т и ч е с к о е у с т р о й с т в о п а р а л л е л ь н о г о т и п а. Сумматор в арифметическом устройстве этого типа имеет столько одноразрядных счетчиков (одноразрядных сумматоров), сколько разрядов имеется в складываемых числах. Все цифры, изображающие числа, суммируются одновременно, а перенос осуществляется от младшего разряда к старшему по специальным цепям переноса. Это значит, что происходит одновременное поразрядное сложение, т. е. одновременно складываются цифры всех разрядов двух чисел.

Если в результате сложения в каком-либо из разрядов возникает перенос в следующий разряд, то этот перенос запоминается в запоминающих ячейках в цепях переноса и после окончания операции поразрядного сложения поступает в нужные разряды. На рис. 23 изображена блок-схема сумматора параллельного действия.

При сложении двух чисел образуются переносы в некоторых разрядах сумматора. Эти переносы передаются

в следующие, более старшие разряды сумматора одновременно, где они добавляются к первоначальным суммам. При этом добавлении переносов могут возникнуть дальнейшие переносы, так что в предельном случае перенос может передаваться от самого младшего разряда к самому старшему разряду.

При сложении двух чисел, имеющих n разрядов, для параллельного сумматора требуется в n раз больше одноразрядных сумматоров, что значительно усложняет общую схему арифметического устройства, но при этом время сложения значительно сокращается, так как требуются всего один такт для сложения и некоторое дополнительное время для n последующих переносов.

Арифметические устройства параллельного типа применяются в универсальных машинах, где требуется большая скорость работы, и усложнение схемы окупается быстротой решения задачи.

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Работа цифровой машины включает три главных этапа: 1) ввод исходных данных; 2) выполнение над ними необходимых логических или арифметических операций; 3) вывод результатов или запись их в запоминающее устройство.

Результат может быть промежуточным и в ходе вычислений потребоваться вновь. Для этого в цифровой машине предусмотрены специальные устройства, которые служат для приема информации на хранение, для хранения ее в течение нужного времени, а также выдачи ее в другие узлы машины. Указанные выше устройства называются запоминающими устройствами или устройствами хранения информации.

Запоминающие устройства позволили освободить человека от выполнения одной из трудоемких операций вычислительного процесса — записи или запоминания информации, имеющих место при вычислениях на счетах или настольных счетных машинах.

Устройства хранения информации можно разделить на два типа: оперативное, или внутреннее, и внешнее запоминающие устройства. В электронных цифровых машинах в ходе вычислительного процесса оперативное запоминающее устройство непосредственно связано с арифметическим устройством и устройством управления. По быстродействию оперативное запоминающее устройство должно

соответствовать двум последним. Внешние запоминающие устройства обычно относятся к системе ввода и вывода, которая имеет значительно меньшую скорость работы и во время вычислений непосредственно не связана с быстродействующими устройствами машины.

Создание оперативных запоминающих устройств дало возможность автоматизировать весь процесс счета и исключило один из источников ошибок, каким являлся вычислитель, непосредственно связанный с ходом расчетов; с другой стороны, автоматизация записи информации сильно повысила скорость работы электронных цифровых машин.

Основные технические характеристики и классификация запоминающих устройств

Наиболее важными техническими показателями запоминающих устройств цифровых вычислительных машин являются следующие:

1. Время обращения к запоминающему устройству — период времени с момента подачи сигнала, управляющего запоминающим устройством, до момента полного завершения приема или выдачи информации. Время обращения $t_{обр}$ состоит из времени ожидания нужного кода $t_{ож}$ и времени выборки его $t_{выб}$:

$$t_{обр} = t_{ож} + t_{выб}.$$

2. Емкость запоминающего устройства C, измеряемая общим количеством информации, хранимой в устройстве.

3. Надежность работы и некоторые другие характеристики (экономичность, стираемость хранящейся информации, габариты и т. д.).

Время обращения к запоминающему устройству в большой степени определяет скорость вычислений. Это время должно быть согласовано со скоростью работы арифметического устройства и устройств ввода и вывода. Это значит, что если арифметическое устройство обладает умеренной скоростью работы, то нет нужды конструировать сверхбыстродействующее запоминающее устройство (с малым временем обращения), так как в этом случае скорость выполнения арифметических операций будет все равно определяться работой арифметического устройства. С другой стороны, будет не оправдано сверхбыстродействующее арифметическое устройство сочетать с запоминающим устройством с большим временем обращения,

ибо в этом случае работа арифметического устройства будет тормозиться запоминающим устройством.

Следует также учитывать, что процесс вычисления может тормозиться устройствами ввода и вывода. В настоящее время скорость работы этих устройств в электронных вычислительных машинах часто не удовлетворяет заданным требованиям. Эта проблема может быть решена путем введения буферных или промежуточных запоминающих устройств, которые могут, не прерывая хода вычислений, принимать от аппаратуры ввода необходимую информацию, а затем с более высокой скоростью передавать эту информацию в оперативное запоминающее устройство и принимать ее обратно. Такой путь решения проблемы приводит к повышению производительности машины, т. е. к увеличению количества вычислительных действий за единицу времени.

Емкость запоминающего устройства измеряется количеством информации, которая может храниться в нем. За единицу этого количества обычно принимается код числа и во многих случаях код команды, часто объединяемые под общим названием «слово».

Емкость запоминающего устройства характеризует гибкость и универсальность применения цифровых машин. Чем больше эта емкость, тем больший круг задач может быть решен с помощью данной машины. При использовании электронно-лучевых трубок, устройств на ферритовых сердечниках эта емкость достигает 1 024—4 096 слов и больше. Магнитный барабан может хранить до 16 тыс. слов. Однако имеются задачи, для которых необходимо иметь значительно бо́льшую емкость запоминающего устройства; в этом случае приходится применять несколько запоминающих устройств, работающих совместно с одним арифметическим устройством.

Надежность хранения информации в машинах определяется вероятностью появления неисправностей в цепях и элементах хранения с течением времени. Применение долговечных элементов с высокой помехоустойчивостью, развитие методов автоматического и предупредительного контроля являются основными путями повышения надежности хранения. В современных машинах надежность хранения может быть охарактеризована временем их исправного состояния, которое может доходить до 70—90%.

Другие технические показатели запоминающих

устройств в основном определяются свойствами среды, хранящей информацию.

По способу передачи кодов последовательно разряд за разрядом или параллельно во времени различают запоминающие устройства последовательного и параллельного типов. Примерами элементов устройств последовательного типа являются различные линии задержки, а параллельного — электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), матрицы с магнитными сердечниками, магнитные барабаны. Однако такое деление не является обязательным. Например, известны случаи, когда ЭЛТ используются с последовательной передачей кодов (по строкам) и др. Параллельный способ передачи кодов обеспечивает для одной и той же среды хранения наименьшее время выборки.

В зависимости от того, находится ли информация в движении или нет по отношению к среде хранения, запоминающие устройства подразделяют на *динамические* и *статические*. Например, ртутная линия задержки является динамическим запоминающим устройством; информация в ней хранится в виде последовательности ультразвуковых импульсов, непрерывно циркулирующих в ртути, наполняющей трубку. ЭЛТ, матрицы с магнитными сердечниками, магнитный барабан являются статическими запоминающими устройствами; в них информация не перемещается по отношению к среде хранения.

Внешние запоминающие устройства

Запоминающие устройства этого типа имеют своим назначением запоминание вводимой в машину или выдаваемой из нее информации. Обычно необходимо иметь внешние запоминающие устройства достаточно большой емкости. В настоящее время в цифровых машинах чаще всего находят применение следующие виды внешних запоминающих устройств:

1) перфокарты;
2) перфоленты;
3) магнитные ленты.

Перфокарта представляет собой карту из плотной бумаги (рис. 24), имеющую стандартные размеры, на лицевой стороне которой отпечатана цифровая сетка в виде ряда вертикальных столбцов, называемых колонками В каждой колонке отпечатано некоторое число цифр. На стандартных 80-колонных или 45-колонных перфокартах отпечатаны цифры 0—9. Эти цифры в горизонтальном направлении

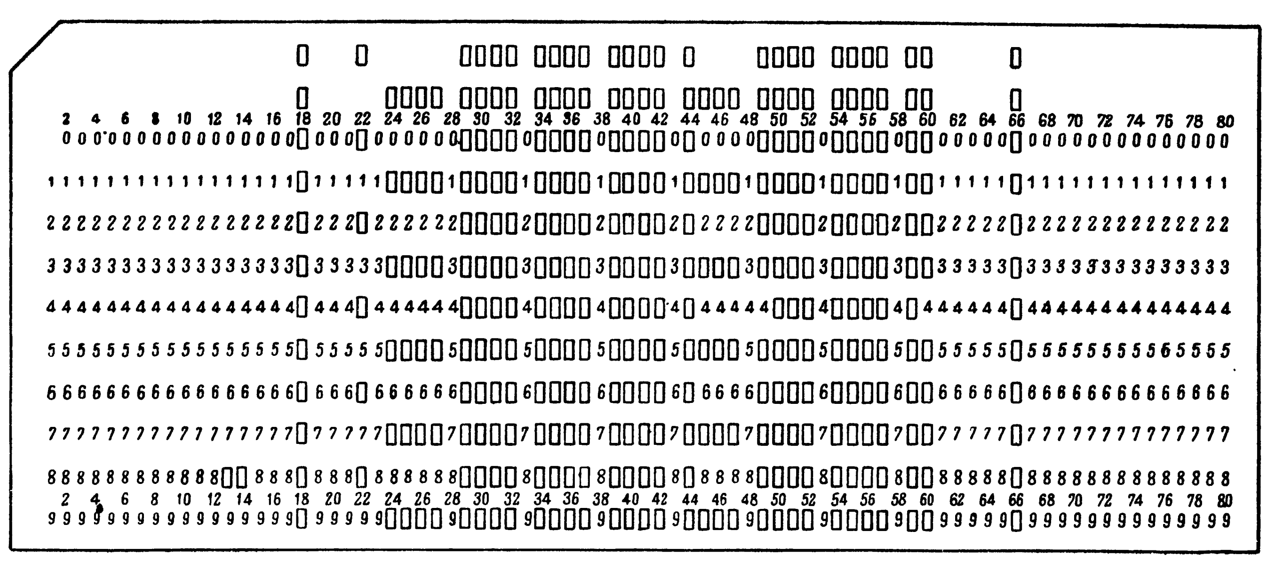


Рис. 24. Стандартная перфокарта на 80 колонок.

образуют десять рядов одноименных цифр. Каждая колонка имеет свой порядковый номер, считая слева направо, отпечатанный внизу перфокарты. С помощью специального устройства (перфоратора) на карте наносятся отверстия в определенных рядах, определяемых кодом числа или команды. Наличие отверстия в данной строке некоторой колонки указывает цифру данного разряда, соответствующего этой колонке. Размер отверстия обеспечивает при заданной скорости работы протяжного механизма надежное замыкание цепи, образуемой контактным валиком и щетками, и появление в данный момент в цепи контакта стандартного электрического импульса.

При записи чисел на перфокарте в двоичной системе для кода одного числа отводится одна строка. Тогда пробивка в данной колонке означает 1 в данном разряде числа. Каждая горизонтальная строка отводится для одного числа.

Перфокарты заготавливаются заблаговременно на перфораторах; обычно они хранят в закодированном виде программу решения задачи. Недостатком перфокарт являются их малая механическая прочность и малая допустимая скорость протяжки.

В связи с тем, что перфокарты имеют ограниченные размеры и для ввода данных в машину их нужно вводить с достаточно большой скоростью, иногда в машинах ввод данных осуществляют с помощью *перфолент*. Перфоленты представляют собой длинные бумажные ленты, разбитые на определенные интервалы — ряды. В каждом ряду путем пробивок записывается одно число. Ленту можно автоматически пропускать через приемник в ту или иную сторону, выбирая, таким образом, нужное число наиболее быстрым путем.

Магнитная лента используется во внешних запоминающих устройствах очень часто. Она представляет собой подложку из горючей или негорючей пленки, покрытую ферромагнитным лаком. С помощью магнитных записывающих головок на ней записывается информация путем намагничивания отдельных участков ленты, протягиваемой в непосредственной близости от головок. Магнитная лента является несколько более прочным материалом, чем бумага, поэтому скорость протяжки ее больше и доходит до 2 *м/сек*. Обычно используют запись кодов чисел и команд по одной дорожке вдоль ленты; иногда применяют многодорожечную запись. Длина пленки достигает 300 и более

метров, а емкость одной ленты — 100 и более тысяч чисел. Среднее время обращения при этом составляет несколько минут.

Оперативные запоминающие устройства

Оперативные запоминающие устройства непосредственно связаны с арифметическим устройством и устройством автоматического управления, поэтому быстродействие их должно соответствовать этим устройствам машины. Требование высокой скорости работы оперативных запоминающих устройств определяет их значительную по сравнению с внешними запоминающими устройствами конструктивную сложность.

В настоящее время в электронных цифровых машинах находят применение оперативные запоминающие устройства, в которых используются следующие элементы:

1) линии задержки различных видов;
2) электронно-лучевые трубки;
3) магнитные барабаны;
4) матрицы с ферритовыми сердечниками.

В период появления первых вычислительных машин для оперативных запоминающих устройств использовали электромеханические реле и триггеры на электронных лампах. Однако при этом трудно было создать запоминающие устройства сколько-нибудь значительной емкости из-за большой сложности и громоздкости таких устройств.

Сравнительные показатели основных применяемых в настоящее время оперативных запоминающих устройств приведены в следующей таблице.

Вид оперативного запоминающего устройства	Среднее время обращения *мксек*	Максимальная емкость хранения всего устройства C_{xp} (кодов чисел)	Примечание
Ртутная линия задержки ($f_{сл} = 1 \div 4$ *Мгц*; $L = 0{,}35 \div 1$ *м*)	130—380	1 024	Код — 40 двоичных разрядов
Электронно-лучевые трубки	6—12	4 096	На каждый разряд по одной трубке
Магнитный барабан	2 000—40 000	16 000	Один ряд головок по образующей барабана
Ферритовые сердечники	6—9	4 096 и более	—

Каждое из указанных оперативных запоминающих устройств имеет свои преимущества и недостатки.

Хранение информации в линиях задержки. Хранение информации в линиях задержки основано на использовании конечного времени прохождения сигналом линии задержки. В цифровых машинах наибольшее практическое применение получили ультразвуковые линии: с жидкой средой — ртутные и с твердой средой — с плавленым кварцем или магниевым сплавом. Применяются также магнитострикционные линии задержки, представляющие собой проволоку из никеля или другого магнитострикционного материала. Электромагнитные линии задержки с сосредоточенными постоянными (L и C) применяются в случае небольшой емкости хранения.

Среднее время обращения для устройств с ультразвуковыми и магнитострикционными линиями задержки определяется следующим соотношением:

$$t_{обр} = \frac{l}{2v} + t_к,$$

где l — длина линии;

v — скорость распространения волн в среде;

$t_к$ — длительность выборки кода одного числа (N цифровых периодов).

Первый член формулы представляет собой среднее время ожидания; цифра 2 в знаменателе его учитывает то обстоятельство, что вероятность нахождения нужного кода непосредственно перед приемным или у передающего конца одинакова.

Емкость хранения одной линии подсчитывается из соотношения

$$C_{хр} \approx \frac{l}{Nv} f_{сл},$$

где N — количество разрядов в коде числа;

$f_{сл}$ — допустимая частота следования кодовых импульсов.

Из этой формулы видно, что емкость хранения возрастает с увеличением длины линий l. Однако увеличение длины линии задержки ведет к увеличению времени обращения и затуханию сигналов. Увеличение емкости хранения $C_{хр}$ за счет увеличения частоты $f_{сл}$ ограничивается предельной шириной полосы пропускания линии, зависящей от физических свойств среды хранения, а также кон-

структивных и других особенностей тракта хранения. Кроме того, фактором, ограничивающим емкость, является зависимость параметров среды от изменения температуры. Степень согласования внутренних сопротивлений электроакустических преобразователей и самой среды линии и наличие затухания также ограничивают возможности увеличения емкости одной линии. Все это не позволяет при-

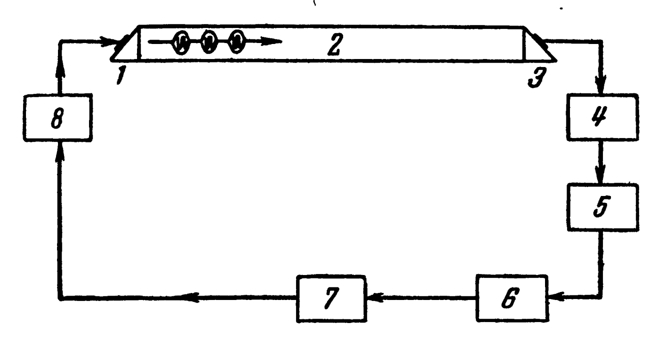


Рис. 25. Хранение информации с применением ртутной линии задержки.

1 — передающий кварц; *2* — линия задержки; *3* — приемный кварц; *4* и *6* — усилители; *5* — детектор; *7* — каскад формирования; *8*—возбудитель.

менять линии задержки в запоминающих устройствах с емкостью хранения больше 1 024 кодов чисел.

В следующей таблице приведены примерные данные различных сред ультразвуковых линий задержек:

Среда	Скорость продольных волн, *м/мсек*	Температурный коэффициент скорости 10^{-4} на 1° C	Затухание, *дб/мсек*	Максимальная частота следования импульсов кода, *Мгц*
Ртуть	1,45	3,3	5*	4
Плавленый кварц	3,8	1,1	10**	6
Магниевый сплав	3,0	4,0	10*	2
Никелевые линии задержки (магнитострикционные)	4,8	5,0	0,4 (при 0,2 *Мгц*)	1

* При несущей частоте 10 *Мгц*.
** При несущей частоте 15 *Мгц*.

На рис. 25 приведена блок-схема тракта хранения на ртутной ультразвуковой линии задержки. В качестве линии используется трубка определенных сечений и длины, запол-

ненная ртутью. На концах трубки находятся два пьезокристалла, обычно из кварца. Последовательность электрических импульсов, представляющих собой код числа, поступает на передающий кристалл, где она преобразуется в механические колебания кристалла, которые передаются в виде ультразвуковых волн сжатия в ртутную среду. Для лучшего использования преобразующих свойств пьезокварца используется несущая частота, модулированная передаваемыми импульсами кода. Несущая частота выбирается равной резонансной частоте пьезокристаллов. Приемный кристалл под влиянием приходящих сигналов получает механические колебания, которые преобразуются в нем в электрические сигналы. Электрические сигналы далее детектируются, усиливаются и подаются в каскад формирования, необходимый для восстановления формы импульсов, искаженных при прохождении по линии. После каскада формирования импульсы подводятся вновь через возбудитель к передающему кристаллу. Таким образом, однажды поданная последовательность электрических импульсов будет циркулировать в тракте сколько угодно, осуществляя хранение информации.

Стирание данных в такой системе производится запиранием усилителя на время прохождения этих данных через усилитель. В цифровых машинах блок оперативного запоминающего устройства на линиях задержки помещается в термостатический шкаф с целью исключения влияния окружающей температуры, а также применяется автоматическая регулировка частоты следования импульсов в зависимости от изменения времени задержки, для того чтобы в линии всегда циркулировало целое количество кодов чисел.

Выборка указанного в адресе номера трубки и номера кода в этой трубке производится с помощью устройства автоматического управления работой цифровой машины при записи и считывании информации. При этом код адреса преобразуется в управляющие напряжения, которые подготавливают к работе нужную трубку, и в момент времени, определенный совпадением автоматически набранного номера кода с текущим номером кода трубки на счетчике, открываются цепи записи или считывания этой трубки.

Хранение информации с помощью электронно-лучевых трубок (ЭЛТ). Для оперативного хранения информации в электронных цифровых

машинах применяют чаще всего или обычные осциллографические трубки, или трубки с барьерной сеткой перед потенциалоносителем.

В машинах применяют исключительно трубки с электростатическим отклонением, поскольку они обеспечивают наибольшее быстродействие. Во второй половине 40-х годов для запоминающих устройств был разработан специальный электронно-лучевой прибор без отклонения луча — селектрон. Однако из-за сложности конструкции и управления им, сильно возрастающей с увеличением емкости хранения, селектрон не получил практического распространения.

В основе применения ЭЛТ для запоминающих устройств лежит ряд принципов, открытых С. И. Катаевым в 1935 г. Эти принципы сводятся к тому, что потенциал свободного электрода[1] (например, экран) вакуумной ЭЛТ под действием тока луча и вторичной эмиссии принимает определенное значение, так называемый равновесный потенциал, зависящий от энергии первичных электронов и коэффициента вторичной эмиссии.

Мишень из диэлектрика (потенциалоноситель), нанесенного на металлическую пластину, имеющую электрический вывод из трубки, условно разбивается на ряд элементарных ячеек, каждой из которых присваивается свой номер (адрес). В каждой из ячеек может быть накоплен электрический заряд, соответствующий нулю или единице. Для того чтобы записать цифру в нужный адрес, необходимо на отклоняющую систему трубки подать напряжение, соответствующее данному адресу, а затем включить на короткое время луч и накопить за счет тока луча в ячейке определенный заряд. Для считывания требуется вновь включить луч в нужную ячейку и по току сигнала распознать, какая цифра хранилась, а также передать кой этой цифры в виде электрического импульса в другие цепи машины. Из этого следует, что в случае применения ЭЛТ для хранения информации требуется резко контрастный потенциальный рельеф.

Записанные в виде накопленных электрических зарядов коды должны надежно храниться в течение необходимого времени. Это время для применяемых диэлектрических потенциалоносителей не превосходит десятых долей

---

[1] Под свободным электродом понимается электрод, не имеющий гальванической связи с другими электродами и источниками питания ЭЛТ.

секунды. При обращении к одной из ячеек мишени часть вторичных электронов с него разлетается и, попадая на окружающие ячейки, искажает заряды на них. Таким образом, возникает опасность выдачи ложных сигналов при считывании. Это является главной причиной того, что пятна электрических зарядов не могут располагаться вплотную и при некотором предельном числе допустимых обращений к пятнам емкость хранения оказывается ограниченной. Число допустимых обращений есть такое число обращений к данному пятну (данной ячейке), что при дальнейших обращениях заряды на соседних пятнах, окружающих данные, искажаются настолько, что сигналы считывания с них оказываются ложными. Для того чтобы такое явление не нарушало нормальной работы машины, необходимо регулярно восстанавливать информацию по всему растру, т. е. по всем ячейкам потенциалоносителя В ЭЛТ осциллографического типа и ЭЛТ с барьерной сеткой восстановление информации производится последовательной перезаписью, т. е. считыванием и повторной записью всей хранящейся информации в период между обращениями к запоминающему устройству или в специально отводимое время в процессе работы машины.

Во всех известных машинах емкость запоминающих устройств на ЭЛТ не превосходит 2—4 тыс. чисел, хотя разработаны электронно-лучевые трубки на 8 000 и более ячеек. Число допустимых обращений для ЭЛТ осциллографического типа доходит до 100, для трубок с барьерной сеткой — до 500—1 000.

Повысить емкость ЭЛТ можно за счет уменьшения абсолютных размеров пятен путем улучшения фокусировки луча. Диаметры пятен в практических устройствах лежат в пределах 0,3—1 *мм*, а расстояние между пятнами в 2—3 раза больше их диаметра. Однако увеличение емкости связано с повышением требований к электронной оптике, цепям наведения луча на пятно, соответствующее данному адресу, и однородности структуры среды потенциалоносителя.

Хранение информации в запоминающем устройстве на ЭЛТ может осуществляться как по параллельному, так и по последовательному принципу. В первом случае цифры одноименных разрядов всех чисел хранятся в отдельной трубке и трубок требуется по меньшей мере столько, сколько разрядов в числе, включая разряд алгебраического знака. Во втором случае все цифры ряда чисел пол-

ностью хранятся в одной трубке. В этом случае запись и считывание производятся последовательно цифра за цифрой (по строкам) и для получения нужной информации требуется больше времени, чем в первом случае, во столько раз, сколько разрядов в числе. Поэтому в запоминающих устройствах на ЭЛТ последовательный принцип практически не применяется.

Среднее время обращения при параллельном хранении на ЭЛТ равно:

$$t_{обр} = t_1 + t_2.$$

Здесь t_1 — длительность преобразования кода адреса в соответствующее напряжение на отклоняющих пластинах; оно в основном зависит от постоянных времени схемы преобразования и может составлять несколько микросекунд. Время действия тока луча на пятно t_2 при записи и считывании в большинстве применяемых ЭЛТ одно и то же; оно должно быть тем больше, чем больше электрическая емкость пятна и необходимая разность уровней потенциала пятна и чем меньше ток луча. Среднее время обращения $t_{обр}$ в известных конструкциях составляет 6—12 *мксек.*

Хранение информации с помощью магнитного барабана. Магнитный барабан представляет собой полый цилиндр, который может вращаться вокруг своей оси. На внешнюю боковую поверхность цилиндра наносится тонкой пленкой слой ферромагнитного вещества — магнитоносителя (окись железа, никель, никель-кобальт и др.). Вдоль образующей барабана l располагаются магнитные головки, при помощи которых происходят запись и считывание информации. Количество дорожек на барабане равно числу установленных головок, а сама дорожка представляет собой часть боковой поверхности барабана, проходящую при его вращении под одной головкой.

Информация записывается на магнитоноситель в виде магнитных диполей — намагниченных участков поверхности. Процесс записи и считывания по существу не отличается от аналогичных процессов в магнитофонах. Конструктивно магнитные головки выполняются почти так же, как и для магнитофонов, но предназначены исключительно для импульсной работы. Металлический сердечник имеет воздушный зазор; на сердечник наматываются обмотки. Величина воздушного зазора составляет несколько десят-

ков микрон; на таком же расстоянии головка устанавливается от поверхности магнитоносителя. Запись может быть стерта намагничиванием слоя до нулевого уровня постоянным полем или размагничиванием переменным полем с помощью тех же или других магнитных головок. Во многих случаях новая запись производится поверх старой без предварительного стирания.

Среднее время обращения для магнитного барабана можно подсчитать по формуле

$$t_{обр} = \frac{1}{2P} + \tau_к .$$

Здесь цифра 2 в знаменателе определяется равновероятностью того, что в данный момент код по заданному адресу может как оказаться непосредственно перед головкой, так и только что прошедшим ее, $\tau_к$ — длительность прохождения полного кода из N цифр при последовательном размещении цифр по дорожке; в случае параллельного представления кодов, при котором все N цифр кода записываются и считываются одновременно N головками, среднее время обращения в основном зависит от количества оборотов барабана P. Для $P = 750 \div 15\,000$ *об/мин* среднее время ожидания составляет соответственно 40—2 *мсек.*

Емкость запоминающего устройства на барабане, т. е. количество кодов чисел, которое может храниться на нем, определяется по следующей формуле:

$$C_{хр} \approx \frac{1}{N} \pi Dmlq,$$

где m — плотность записи информации вдоль дорожки, т. е. число диполей на 1 *мм*, или, как чаще говорят, число импульсов на 1 *мм*; в существующих конструкциях m доходит до 3 — 6 *имп/мм*;
q — количество головок на 1 *см* образующей барабана.

В этой формуле l надо подставлять в сантиметрах, а диаметр барабана D — в миллиметрах.

Обычно не проектируют магнитных барабанов емкостью больше 16 тыс. чисел.

Частота следования записанных импульсов

$$f_{сл} = \frac{\pi DmP}{60} [гц],$$

где P — число оборотов барабана в минуту.

Работа магнитного барабана схематически показана на рис. 26. На вход усилителя *1* подаются импульсы тока, если в данный момент необходимо записать на барабане «1». Усиленные импульсы проходят через обмотку возбуждения записывающей магнитной головки *2*. В сердечнике возникает магнитный поток, который, проходя через воздушный зазор, несколько расширяется. Благодаря этому силовые линии магнитного поля проникают в поверхностную пленку барабана *3* и производят намагничивание участка поверхности. Считывание данных можно производить другой такой же магнитной головкой *4*, работа которой противоположна работе записывающей. При прохождении намагниченного участка поверхности барабана мимо головки в ней наводится магнитный поток, создающий в обмотке импульс напряжения, который затем усиливается в усилителе *5* и подается в другие блоки машины. Усилитель *5* необходим потому, что импульс, наводимый в считывающей головке, составляет около 50—100 *мв*.

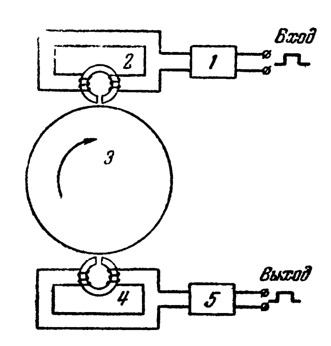


Рис. 26. Схема записи на магнитный барабан и считывания с него.

1 — усилитель; *2*—записывающая головка; *3* — магнитный барабан; *4*—считывающая головка; *5* — выходной усилитель.

Поскольку считывание и запись производятся в разное время, то часто вместо двух головок используют на каждой дорожке по одной головке.

Выбор необходимых дорожек на барабане и места расположения кода на дорожке в соответствии с заданным адресом осуществляется посредством цепей селекции. Указанный в команде код адреса непрерывно сравнивается с кодом счетчика главных импульсов, которые считываются с одной из дорожек, предназначенной специально для синхронизации и селекции (с так называемой дорожки синхронизирующих импульсов). В момент совпадения этих кодов начинается запись или считывание. Перед началом работы из управления машины подается сигнал, автоматически подготавливающий цепи записи или считывания.

Существуют различные схемы устройств с магнитными барабанами, которые зависят от структуры машины и выбранных принципов действия устройства. На рис. 27 показан один из магнитных барабанов.

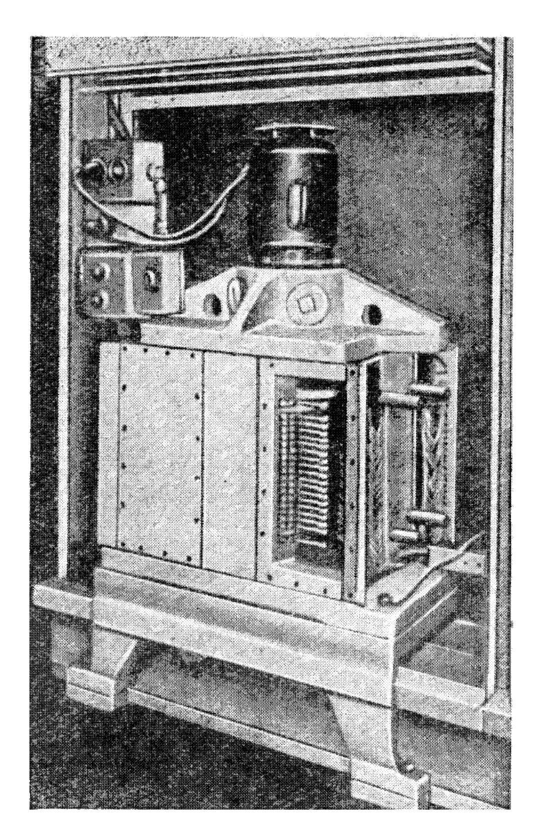


Рис. 27. Общий вид магнитного барабана (видны записывающие головки).

Запоминающее устройство на барабане отличается высокой надежностью, экономичностью, простотой и гибкостью применений. Малое количество оборудования, приходящееся на единицу информации, сочетается с весьма большой емкостью хранения. При отключении электропитания и в результате считывания информация не утрачивается и, следовательно, не требуются время и оборудование на регенерацию. Недостатком запоминающих устройств с барабаном является сравнительно большое время ожидания.

Хранение информации с помощью ферритовых сердечников. В последнее время в вычислительной технике стали широко применяться различные магнитные материалы, имеющие прямоугольную пет-

лю гистерезиса. Так, для хранения информации в оперативных запоминающих устройствах используются ферритовые сердечники, имеющие достаточно прямоугольную петлю гистерезиса и довольно легкое управление состоянием намагничения. Ферритовые сердечники изготавливаются в виде тороидов с наружным диаметром в несколько миллиметров, с несколькими (две-три) первичными и одной вторичной обмотками. Двоичные числа 0 и 1 сохраняются в виде остаточной индукции того или иного знака. Определенное число ферритовых сердечников образует матрицу, которая может быть плоской, при этом имеются две первичные обмотки, или же пространственной, в этом случае первичных обмоток будет три.

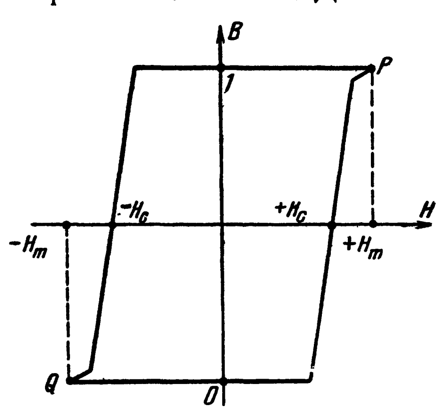


Рис. 28. Идеализированная петля гистерезиса.

Принцип действия матричной системы хранения на ферритах основан на методе сложения токов, протекающих по первичым обмоткам сердечников. В результате этого сложения создается напряженность перемагничивающего поля, бо́льшая коэрцитивной силы H_c. Это положение можно объяснить с помощью рис. 28, изображающего идеализированную петлю гистерезиса ферритового сердечника. Если магнитное состояние сердечника характеризуется точкой *1*, то для перемагничивания сердечника необходимо поле напряженностью не меньше, чем $-H_m$ и наоборот, если состояние сердечника соответствует точке «0», то для его перемагничивания необходимо поле напряженностью $+H_m$. При наличии двух первичных обмоток в тороиде в каждую из них подается половина необходимого для перемагничивания тока, а направления витков обмоток таковы, что магнитные поля от этих токов складываются. За счет этих потоков создается напряженность поля, при которой происходят перемагничивание сердечника и, следовательно, запись нужной информации или ее считывание.

Принципиальная схема матрицы с плоским располо-

жением сердечников изображена на рис. 29. На каждый сердечник наматываются по две первичные обмотки, служащие для записи информации в нужный сердечник, и одна вторичная, служащая для считывания информации. Горизонтальные ряды сердечников образуют отдельные регистры с количеством двоичных разрядов, равным числу сердечников в ряду. Первичные обмотки сердечников каждого ряда (по одной от каждого сердечника) соединены

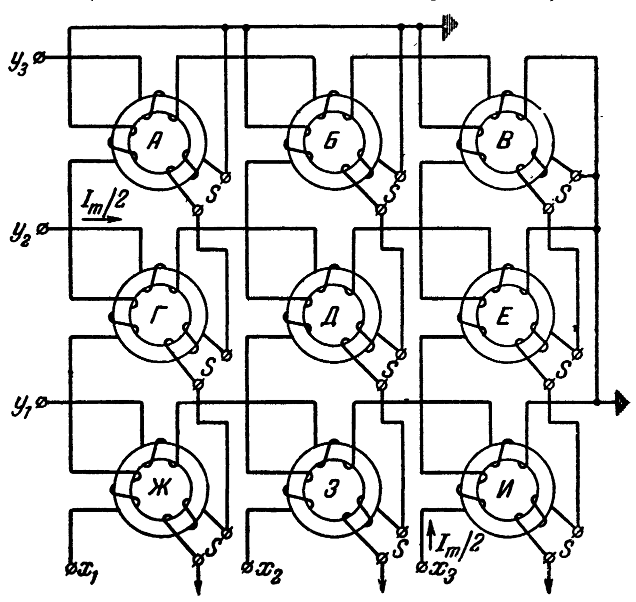


Рис. 29. Двухмерная схема запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

последовательно, образуя цепь, открывающую соответствующий регистр: y_1, y_2 или y_3. Вторые первичные обмотки сердечников также соединены последовательно, образуя линии подачи соответствующих разрядов чисел: x_1, x_2, x_3 и т. д. Вторичные обмотки сердечников S служат для выдачи считываемых двоичных цифр. Эти обмотки также соединены последовательно для всех сердечников каждой вертикальной колонки, и таким образом, одинаковые разряды всех регистров соединены последовательно и имеют общий выход. Если на входы y_2 и x_3 поступают два тока величиной $\frac{I_m}{2}$, то напряженность поля достигнет величи-

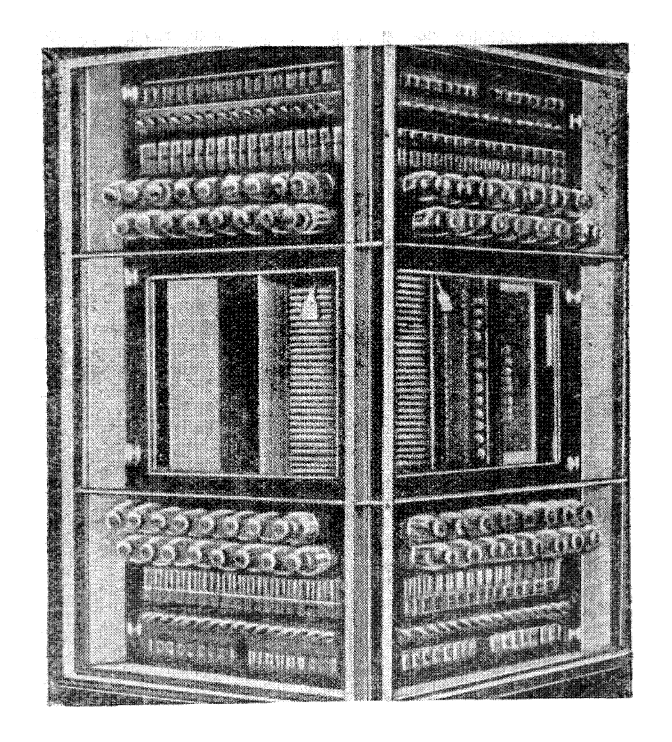


Рис. 30. Запоминающее устройство на ферритовых сердечниках.

ны H_m только в сердечнике E, в котором одновременно будут действовать оба тока. В остальных сердечниках напряженность поля будет меньше, чем H_m, так как ток не достигнет нужной величины и не вызовет перемагничивания.

Если сердечник E был предварительно намагничен в противоположном направлении, то процесс перемагничивания его вызовет появление в обмотке S выходного сигнала. На выходных обмотках других сердечников никакого сигнала не появится независимо от того, были ли они раньше намагничены или нет. так как они не подвергаются перемагничиванию.

Если выбранный сердечник находился в состоянии «1», то при считывании он переходит в состояние «0», т. е. происходит разрушение информации. Восстановление информации осуществляется во вторую половину цикла считывания; при этом единица вновь записывается в те разря-

ды, в которых при считывании появился электрический импульс.

Величина управляющих токов достигает величины порядка 1 *а* и зависит от значения коэрцитивной силы H_c и качества тороидов; время записи и считывания составляет величину порядка нескольких микросекунд. В настоящее время построены запоминающие устройства, имеющие до миллиона сердечников и более.

Вследствие высоких магнитных свойств ферритов и возможности получить сравнительно большие управляющие токи в реальных условиях вместо намотки первичных и вторичных обмоток сердечники просто пронизывают проводниками; таким образом, в каждой обмотке получается по одному витку. Одни проводники относятся к системе вертикальных проводов, вторые — к горизонтальной системе, а третьи представляют собой обмотки считывания.

Основными достоинствами оперативных запоминающих устройств на ферритах являются: простота конструкции, высокая надежность, большая скорость записи и считывания информации, сравнительно большая емкость, возможность сохранения записанной информации неограниченно большое время без затраты энергии.

На рис. 30 показан блок оперативного запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ

Устройство автоматического управления служит для управления работой машины в процессе вычислений. Оно обеспечивает последовательное выполнение операций по программе, а также управление работой машины при выполнении отдельных операций.

Устройство автоматического управления является одним из главных факторов увеличения скорости работы машин, так как на каждом этапе работы машины оно автоматически с большой скоростью создает необходимые условия для реализации очередной операции рабочего процесса. При этом оно действует как автоматическая телефонная станция, соединяющая те узлы и ячейки машины (абоненты), которые участвуют в данной отдельной операции. Соединение нужных узлов и ячеек машины происходит в строгом соответствии с командами, записанными в программу расчета.

Команда представляет собой информацию, представленную в форме, позволяющей ввести ее в машину и опре-

деляющей действие машины в течение некоторого отрезка времени.

В различных машинах построение команд может быть разным. Так, например, в машине БЭСМ Академии наук СССР принята трехадресная система команд. Каждая команда является последовательностью четырех чисел: α, β γ и δ, из которых первое указывает номер предписываемой операции (сложение, вычитание и т. д.), последующие два — адреса двух ячеек, над содержимым которых совершается операция, а последнее — адрес ячейки, в которую следует поместить результат (всего — три адреса).

Практически каждая команда записывается в одной ячейке в виде одного числа, цифры которого разбиваются на четыре группы, имеющие соответствующие назначения.

Для автоматического управления работой машины обычно используется несколько десятков различных команд, соответствующих различным арифметическим и логическим операциям.

Команды программы выдаются из запоминающего устройства машины поочередно; при этом исполнение отдельной команды происходит в два приема: сначала очередная команда извлекается из запоминающего устройства устройством управления, а затем она выполняется.

Код операции (первая группа цифр команды) воздействует на арифметическое устройство, настраивая его на выполнение соответствующей операции. Адреса команды (три последующие группы цифр) воздействуют на запоминающее устройство, настраивая его последовательно на выдачу исходных данных из требуемых ячеек запоминающего устройства и затем на прием результата операции в указанную ячейку запоминающего устройства. Выбранные из запоминающего устройства числа поступают в арифметическое устройство, в котором над ними производится операция, определяемая кодом операции; результат операции посылается обратно в запоминающее устройство, в ячейку, номер которой указан в третьем адресе команды. Записью результата операции в запоминающем устройстве заканчивается выполнение данной команды, после чего устройство управления автоматически извлекает из запоминающего устройства следующую команду.

Известны два типа конструкции машин с различным порядком выполнения команд программы: естественным и принудительным. При естественном способе команды программы располагаются в ячейках запоминающего устрой-

ства подряд, в порядке возрастания номеров ячеек, т. е. в том порядке, в каком они должны выполняться в программе.

При принудительном способе выполнения команд каждая команда, помимо информации, определяющей содержание очередной операции, несет с собой также указание о том, какую команду выполнять после данной команды, т. е. из какой ячейки запоминающего устройства взять следующую команду. В последнем случае команды программы должны иметь в своем составе дополнительные адреса, указывающие местонахождение очередных команд.

Техническая реализация устройства автоматического управления, исходя из изложенного, не представляет особых затруднений, ибо она имеет много общего с устройством автоматической телефонной станции, в которой номер абонента набирается путем посылки соответствующих электрических сигналов.

Основным элементом устройства автоматического управления является дешифратор, преобразующий цифровое представление команд в нужную систему соединений между элементами машины. Чтобы легче уяснить себе работу дешифрирующего устройства, рассмотрим его работу для команд, представленных двузначным кодом. При этом на вход дешифратора могут быть поданы четыре числа: 00, 01, 10 и 11. Каждому из этих чисел должно соответствовать включение определенных вентилей, производящееся путем посылки импульса по соответствующей цепи.

Двоичное число — команда — вначале устанавливается в соответствующих ячейках запоминающего устройства, которые работают совместно с дешифратором. От каждой ячейки, например двойного триода, выводятся два провода, с левого и правого анодов. В данном случае запоминание четырех команд осуществляется двумя ячейками запоминающего устройства; следовательно, к дешифратору будут идти две пары проводов (горизонтальные прямые). Указанная схема изображена на рис. 31.

Вертикальные прямые *I*, *II*, *III* и *IV* представляют собой выходы дешифратора; по ним передается выходной сигнал, так что данный выход соответствует только одному определенному числу, т. е. команде.

Каждый выход через большое развязывающее сопротивление соединен с источником положительного напряжения, а через диоды — с выходными цепями ячеек запоми-

нающего устройства. Если из ячейки запоминающего устройства, в которой зафиксирована нужная команда, передается сигнал, например 10, это значит, что левый триод второй ячейки и правый триод первой ячейки открыты и потенциалы их анодов в виде низких уровней передаются на катоды диодов *3*, *4* и *5*, *6*. Диоды *3*, *4* и *5*, *6* становятся проводящими, и почти все напряжение источника падает на развязывающих сопротивлениях; благодаря этому выходное напряжение на выходах *I*, *II*, *IV* дешифратора будет низким и сигнал передаваться не будет. Наоборот, правая цепь разряда двоек и левая цепь разряда единиц, идущие от анодов запоминающих ячеек, будут иметь высокий потенциал. Следовательно, диоды *7*, *8* и *1*, *2* будут заперты, так как в цепь катода у них будет подано положительное напряжение. Таким образом, высокое напряжение будет на выходе *III* дешифратора, что соответствует подаче команды «10» и приводит к коммутации цепей, соответствующих этой команде.

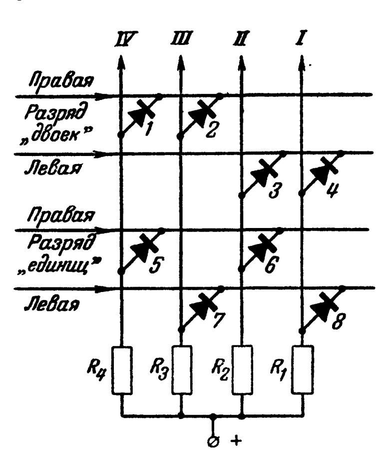


Рис. 31. Принципиальная схема дешифратора на четыре команды (00, 01, 10 и 11).

По такому же принципу строятся дешифраторы и на большее число команд; разница заключается только в большем количестве диодов и выходных цепей от ячеек запоминающего устройства.

На рис. 32 показана схема дешифратора для четырехзначных чисел-команд (0000, 0001, 0010, ...); на выходе такого дешифратора можно получить 16 различных команд. Для наглядности чертежа диоды упрощенно обозначены кружочками. Такая непосредственная схема дешифратора («одноступенчатого») на 16 выходов требует 64 диодов. Для уменьшения количества диодов применяют схему двухступенчатого дешифратора. В этой схеме выходные пары цепей запоминающих ячеек собираются сначала в виде двузначных дешифраторов, выходные провода которых образуют следующую ступень дешифратора. Необходимое

количество диодов будет следующим: 8+8+32=48 для случая, когда имеется 16 команд. Схема такого дешифратора изображена на рис. 33.

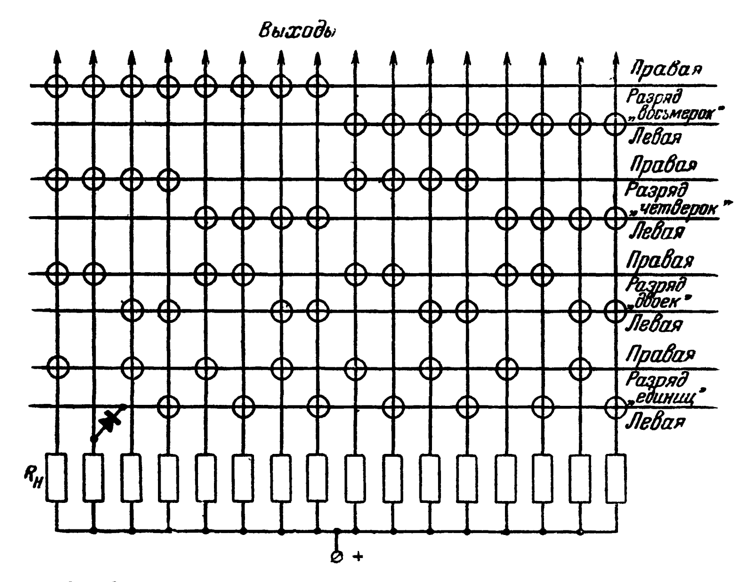


Рис. 32. Схема дешифратора для четырехзначных чисел-команд (0000, 0001, 0010, . . . , 1111).

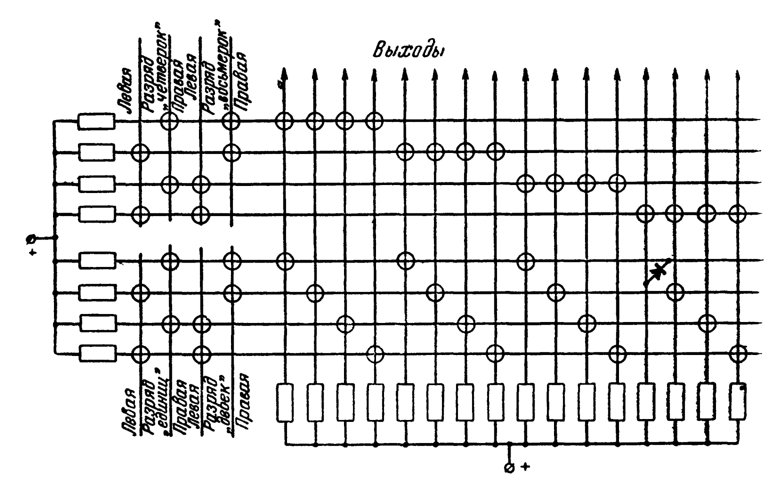


Рис 33. Схема двухступенчатого дешифратора на 16 выходов.

КОНТРОЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Электронные цифровые машины с программным управлением, как и всякие вычислительные машины, могут давать ошибки при выполнении арифметических и логических операций. Эти ошибки состоят из погрешностей, возникающих при вводе программы в запоминающее устройство машины и при нечеткой работе самой цифровой машины, в которой могут выходить из строя отдельные элементы или происходить их неправильное срабатывание.

Полного устранения этих ошибок добиться невозможно, так как при составлении сложной программы всегда могут иметь место ошибки программиста, а наличие в машинах многих сотен и тысяч различных электровакуумных приборов и других деталей приводит к тому, что вероятность появления различных неисправностей в отдельных элементах и узлах довольно значительна.

Точное решение задачи в ходе всего вычислительного процесса очень важно, так как незначительная ошибка, появившаяся в начале, в дальнейшем может привести к совершенно неверному результату. Учитывая, что работы по вычислениям с помощью цифровой машины обходятся довольно дорого, следует отметить необходимость контроля вычислений на разных этапах решения задачи.

Контроль вычислений начинается с контроля при составлении программы и записи ее на бланки, так как любая описка хотя бы в одной команде, приводит в негодность всю программу.

При переносе программы с бланка на перфокарты или перфоленты возможно появление новых ошибок. Для того, чтобы устранить возможность появления ошибок, перфокарты подготавливают методом «в две руки», т. е. два человека изготавливают два комплекта перфокарт, которые затем проверяются на полную тождественность с помощью специального электрического устройства, называемого контрольником. В случае появления расхождения в перфокартах их изымают из комплекта и снова пробивают на перфораторах новые перфокарты, а затем их также проверяют на контрольнике, добиваясь полной тождественности обоих комплектов.

Программа, записанная таким образом на перфокарты или перфоленты, вводится в оперативное запоминающее устройство машины. При этом также возможны ошибки, возникающие от сбоев в работе устройств ввода, самого

запоминающего устройства или управления. Контроль правильности ввода можно осуществить следующим образом: произвести ввод информации с первого комплекта перфокарт и просуммировать все введенные цифры с запоминанием полученной суммы, затем ввести второй комплект перфокарт в те же ячейки памяти, в которые была введена программа в первый раз (старые числа при этом стираются), и снова произвести контрольное суммирование. После этого производится сравнение первой контрольной суммы со второй; в случае одинаковых результатов считают, что программа, введенная со второго комплекта перфокарт, не содержит искажений.

После этого производится окончательная отладка программы на машине, так как практика показывает, что возможно появление невыявленных ошибок на бланках. Применяют для этого метод контрольных остановов, суть которого заключается в следующем: в программе еще при записи ее на бланках в некоторых командах проставляются контрольные знаки, равные 1, в определенных разрядах кода команды. При наличии контрольного знака 1 в некоторой команде машина выполняет эту команду и останавливается, одновременно выдавая на пульт управления код выполненной команды, номер ячейки, хранящей команду, которая должна выполняться следующей, и содержимое трех ячеек, номера которых стоят в адресах выполненной команды. По выдаваемым на пульт управления числам можно судить, все ли участки программы работают и правильно ли производится передача команд.

После такой проверки программа считается отлаженной и используется для решения задачи. Однако за правильность результатов, выдаваемых машиной, ручаться нельзя, так как в ней всегда могут иметь место случайные ложные срабатывания. Необходимо предусмотреть контроль работы самой машины на правильность полученных результатов.

Для контроля работы машины применяется несколько различных способов:

1. Двукратное выполнение каждой вычислительной операции, производимой двумя различными способами, путем составления специальных программ.

2. Применение обратного вычислительного процесса; для этого полученный в результате прямого решения ответ вводят вновь в машину и при помощи специальной программы получают исходные данные. Этот способ более на-

дежен, так как здесь для контроля используется другая последовательность операций.

3. Более широкое применение имеет способ контроля работой «в две руки», т. е. решение задачи осуществляется на двух одинаковых машинах с постоянным сравнением промежуточных и конечных результатов с помощью специального контрольного устройства. В случае расхождения результатов больше допустимого машины автоматически останавливаются.

4. Другой метод, требующий меньшего дополнительного оборудования (или меньшей затраты времени на решение задачи при том же оборудовании), заключается в периодическом включении в данную программу небольших проверочных задач с заранее известным ответом. Таким образом, машина в определенные моменты времени прерывает решение основной задачи и решает проверочную задачу. Если результат проверочной задачи совпадает с известным ответом, то машина считается исправной и решение основной задачи продолжается.

Надежность работы электронных цифровых машин в большой степени зависит от тех профилактических мероприятий, которые должны быть проведены качественно и своевременно. В настоящее время машины используются 16 — 20 *ч* в сутки, и вполне понятно, что нагрузка на лампы, детали и узлы в целом получается очень большой. Высокая стоимость эксплуатации цифровых машин требует также безошибочных решений. Все эти соображения диктуют необходимость самого тщательного и своевременного профилактического осмотра отдельных деталей, узлов и всей машины в целом.

Как правило, цифровые машины эксплуатируются в течение 6 дней в неделю; 1 день в неделю используется для профилактических работ. Вполне естественно, что цифровые машины, имеющие большое число радиоламп, полупроводниковых диодов и других деталей, немыслимо проверять по схеме с помощью осциллографов и вольтметров. Для сравнительно надежного выполнения этой задачи разрабатывается серия испытательных программ, каждая из которых предназначена для проверки всех элементов определенного узла машины. При исполнении испытательной программы в соответствующих узлах машины ухудшаются режимы работы схем, т. е. включаются профилактические режимы работы. При этом ненадежно работающие элементы заменяются.

ВВОД И ВЫВОД

Входные и выходные устройства осуществляют связь цифровой вычислительной машины с внешними устройствами, не входящими в состав собственно машины.

Входное устройство служит для считывания информации с перфоленты, перфокарт и т. д. с передачей электрических сигналов, соответствующих этой информации, в другие устройства машины. При считывании код числа, представленный в виде ряда отверстий на перфокарте или перфоленте (статическое представление числа), преобразуется в определенную последовательность импульсов (динамическая форма числа), соответствующую данному коду. Это осуществляется путем замыкания электрических цепей в те моменты времени, когда под считывающим устройством проходят отверстия на перфоленте или перфокарте.

Например, считывание с перфокарт осуществляется следующим образом.

В считывающем устройстве для каждого разряда перфокарт имеется отдельный электрощуп в виде металлической щетки. Для 80-колонных перфокарт в один ряд располагаются 80 таких щеток. Перфокарта подходит к щеткам широкой стороной. Когда под щетки подойдет первый ряд перфокарты, в котором записан двоичный код одного числа, то в тех разрядах, где имеются отверстия, обозначающие 1, щетки осуществят электрический контакт с валиком, по которому движется перфокарта. В цепях этих щеток возникнут в этот момент импульсы напряжения. Таким образом, одновременно будет считан код одного числа. При дальнейшем продвижении перфокарты будут считаны все числа с данной перфокарты.

В данном примере считывание осуществляется по параллельному принципу. Считанные числа передаются далее в оперативное запоминающее устройство.

Примерно таким же путем происходит считывание данных с помощью фотоэлементов. Электрический щуп здесь заменяется пучком света, идущим от точечного источника света. В момент появления отверстия на перфокарте луч света проходит на соответствующий этому отверстию фотоэлемент. Возникающий при этом электрический импульс напряжения воздействует на последующие цепи машины и обеспечивает передачу считанного кода в нужные места машины.

После того как произведены вычисления, необходимо выдать результаты в виде, удобном для изучения. Эти данные

могут быть выданы в цифровой форме в виде таблиц или графика.

Вывод данных из цифровой машины производится несколькими способами. Из них наибольшее распространение имеют: вывод данных при помощи электрических пишущих машинок, путем перфорации на бумажную ленту и фотопечатающим способом.

Вывод данных путем перфорации на бумажной ленте (или печатания при помощи пишущей машинки) осуществляется следующим образом: импульсы, соответствующие цифре, которая должна быть пробита на ленте, поступают на импульсные усилители и далее на электромагнитные реле данного разряда в перфорирующем блоке. При этом выбранное реле возбуждает обмотку соленоида, что обеспечивает необходимое движение пуансона перфоратора или клавиши пишущей машинки.

В том случае, когда от выходного устройства требуется более высокая скорость работы, применяются фотопечатающие устройства.

Иногда выходные данные цифровой вычислительной машины преобразуются специальными устройствами в непрерывную форму и выдаются сразу в виде графиков.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

Способность электронных цифровых машин с программным управлением выбирать в ходе работы то или иное продолжение вычислительного процесса в зависимости от результатов промежуточных операций, а также изменять программу вычислений и многократно повторять всю программу или ее отдельные участки, позволяет осуществить с их помощью автоматическое выполнение самых различных алгоритмов решения многих задач как чисто расчетных, так и ряда других.

Для любого алгоритма характерными являются две основные черты:

1) определенность алгоритмов, заключающаяся в том, что система правил, составляющих данный алгоритм, может быть выполнена исполнителями чисто механически, без понимания смысла решаемой задачи;

2) массовость алгоритмов, заключающаяся в том, что с помощью любого алгоритма может решаться не одна, а несколько однотипных задач.

Существует большое разнообразие задач как в математике, так и в других областях умственной работы людей,

которые выполняются по строго определенным правилам. Не только математические задачи, но и планирование производства, банковское дело, игра в шахматы, перевод и многие другие процессы могут быть описаны в виде определенных алгоритмов и, следовательно, решены с помощью цифровой машины.

В настоящее время электронные цифровые машины все большее применение находят для целей автоматизации различных производственных, технологических процессов. Машины этого типа называется управляющими машинами.

В качестве наглядного примера рассмотрим применение цифровой машины для управления работой металлообрабатывающих станков. При таком использовании управляющей машины режущий инструмент станка воспроизводит в металле цифровые данные для обработки, записанные на перфоленте, перфокартах или магнитной ленте. Для первых опытов в этом направлении был выбран фрезерный станок, при помощи которого производилась обработка сложных поверхностей лопастей газовых турбин. Управление станком при такой работе производится автоматически с помощью специализированной электронной цифровой машины, которая работает по определенной, заранее составленной программе, определяющей координаты ряда точек для профиля поверхности детали. При работе станка инструмент перемещается относительно изделия. В результате соответствующих движений рабочих органов станка воспроизводится требуемый профиль детали.

Применение цифровых машин для управления работой металлообрабатывающих станков при соответствующих условиях позволяет поднять производительность труда и уменьшить себестоимость продукции за счет:

1) сокращения времени на наладку станка;
2) уменьшения затрат квалифицированного труда;
3) улучшения качества продукции;
4) увеличения производительности оборудования.

Автоматизированное управление дает возможность изготовлять детали непосредственно по данным расчета, не прибегая к чертежам. Имеется возможность с помощью одной машины управлять несколькими однотипными станками. Сигналы для управления станками можно посылать с некоторого расстояния; следовательно, электронная цифровая машина может располагаться вне цеха, что имеет важное значение для распределения производственных площадей цеха, улучшает централизацию управления

и эксплуатацию самой цифровой машины. С помощью управляющих машин можно будет произвести полную автоматизацию цехов и даже заводов.

Весьма перспективно применение цифровых машин в авиации. Все более возрастающие скорости самолетов требуют от летчиков, управляющих ими, очень быстрой реакции для выполнения различных эволюций, а это приводит к быстрой утомляемости организма человека, поэтому всемерная автоматизация самолетовождения очень желательна. С помощью цифровых машин с программным управлением можно осуществлять взлет, посадку, движение по курсу и другие задачи самолетовождения. Такая специализированная вычислительная машина, выполненная с использованием полупроводниковых приборов, получается довольно компактной и экономичной. Так, по материалам иностранной печати, одна из бортовых систем для самолетовождения занимает объем 0,34 *м*³, вес 113 *кг*, общее количество ламп 434. Сама цифровая машина, входящая в комплект бортового оборудования системы, состоит из двух блоков, занимает объем 0,16 *м*³ и весит 59 *кг*; общее количество ламп в ней 260, полупроводниковых диодов — 1 300; полное потребление мощности от источников питания, включая затраты на охлаждение, составляет 1,3 *квт*.

Цифровые вычислительные машины с успехом используются также при автоматизации технологических процессов на химических и нефтепергонных заводах, где уже на сегодняшний день достигнута весьма высокая степень автоматизации: введена непрерывность течения процессов, представленных потоками сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Поэтому внедрение цифровых машин на этих заводах завершает их полную автоматизацию.

В качестве возможного варианта схемы автоматического управления непрерывным технологическим процессом в зависимости от качества сырья и готового продукта можно привести схему, изображенную на рис. 34. По мере отклонения показателей качества сырья и готового продукта от заданных в программе управления цифровая машина вычисляет необходимые корректирующие сигналы для изменения задающих воздействий местных регуляторов. В данном процессе цифровая машина играет роль связующего элемента в сложной системе взаимосвязанного регулирования.

Одним из трудоемких и однообразных видов умственного труда является перевод текста с одного языка на

другой. Ежегодно в каждом государстве проводится огромная работа по переводу технической и художественной литературы, работает огромное количество переводчиков. Актуальность механизации процесса перевода совершенно очевидна.

Реальность машинного перевода подтверждается тем, что обычный перевод всегда выполняется по определенным правилам лексики и грамматики, которые могут быть выражены своим алгоритмом и представлены в виде программы для электронной цифровой машины.

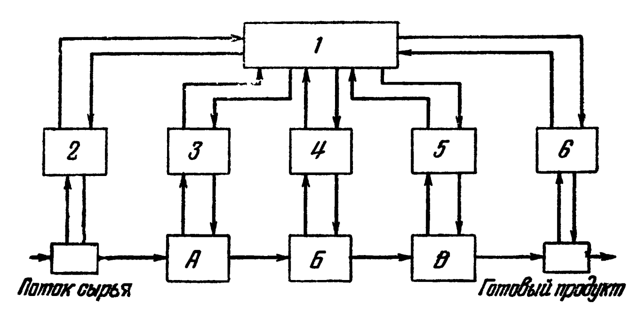


Рис. 34. Примерная схема автоматического управления непрерывным технологическим процессом.

1 — вычислительное устройство; *2* — анализ сырья; *3* — *5* — регуляторы; *6* — анализ готового продукта; *А*, *Б* и *В* — этапы технологического процесса.

Первые удачные попытки перевода с русского языка на английский были осуществлены в 1954 г. американскими учеными на машине ИБМ-701; в 1955 г. опыты перевода с английского языка на русский были осуществлены на советской машине БЭСМ. Работы по машинному переводу еще далеки от совершенства и сопряжены с громадными трудностями, но настойчивая работа по совершенствованию цифровых машин и правил перевода, несомненно, облегчит решение этой проблемы.

Следует отметить, что в СССР в 1955 г. впервые осуществлен был машинный перевод технического текста, не требующий последующего редактирования.

Программа работы машины по автоматическому переводу чрезвычайно сложна (она содержит десятки тысяч команд) и учитывает большое количество правил и грамматических характеристик перевода. Однако основная трудность при осуществлении машинного перевода относится к области языкознания. После того как составлен ма-

шинный словарь и разработана система четких правил для работы машины, составление самой программы машинного перевода, несмотря на ее чрезвычайную громоздкость, не представляет принципиальных трудностей.

В настоящее время в Советском Союзе ведутся работы по автоматическому переводу с ряда языков, в том числе с английского, французского, китайского, японского и ряда других, и по созданию специальной цифровой вычислительной машины для перевода.

Внедрение электронных цифровых машин дало толчок для развития некоторых других научных теорий, к которым следует отнести теорию информации, теорию игр и тактик, теорию линейного планирования, методы научного анализа операций. В перспективе возникают возможности применения цифровых машин для автоматизации процессов управления хозяйственной, экономической и производственной деятельностью не только в масштабе отдельных предприятий, но и в масштабе всей страны. Не исключена возможность применения цифровых машин в военном деле.

Мы уже разбирали вопросы о математических возможностях электронных цифровых машин; известно, что если исследуемый процесс может быть описан с помощью формальных правил, т. е. если он имеет свой алгоритм, то такой процесс почти всегда может быть исследован с помощью цифровых машин. Большинство научных и технических проблем имеет свои алгоритмы и, таким образом, может быть исследовано с помощью цифровых машин. Следовательно, цифровые машины с успехом могут быть применены почти во всех областях науки и техники.

Цена 2 руб.